

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**UNAPREĐENJE ODRŽAVANJA UPRAVLJAČKIH VENTILA
NUKLEARNO ENERGETSKOG POSTROJENJA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr. sc. **Ivo Čala**, izv. prof.

Boško Lukić, dipl.ing.

Zagreb, 2010.

PODACI ZA BIBLIOGRAFSKU KARTICU

UDK:	62-7:621.646.24
Ključne riječi:	Održavanje, sigurnost, pouzdanost, raspoloživost, tehnički sustav, nuklearne elektrane, kontrolni ventili, zračno upravljani ventili
Znanstveno područje:	Tehničke znanosti
Znanstveno polje:	Strojarstvo
Institucija u kojoj je rad izrađen:	
Mentor rada:	Dr.sc. Ivo Čala, izv. prof.
Broj stranica:	135
Broj slika:	36
Broj tablica:	2
Broj korištenih bibliografskih jedinica:	40
Datum obrane:	
Povjerenstvo:	Dr. sc. Zvonimir Guzović, izv. prof. – predsjednik povjerenstva, FSB - Zagreb Dr. sc. Ivo Čala, izv. prof. – voditelj završnog rada, FSB - Zagreb Dr. sc. Davor Grgić, izv. prof., FER – Zagreb
Institucija u kojoj je rad pohranjen:	Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Poslijediplomski specijalistički studij
Područje: Industrijsko inženjerstvo i menadžment



Zagreb, 26.04.2010.

Zadatak za završni rad

Kandidat: *Boško Lukić*

Naslov zadatka: **UNAPREĐENJE ODRŽAVANJA UPRAVLJAČKIH VENTILA
NUKLEARNO ENERGETSKOG POSTROJENJA**

Opis:

Iz dana u dan doživljavamo nova rješenja na području raznih tehnologija, a jedno od važnih područja su razne tehnologije, pristupi i modeli održavanja industrijskih postrojenja, transportne opreme ili općenito tehničkih sustava. Posebno je važno uočiti trend u sustavima upravljanja održavanjem u odnosu na razvoj tehničkih sustava. U zadnje vrijeme velikim brojem tehničkih sustava upravlja se korištenjem kontinuirane dijagnostike ili monitoriranjem. Sustavi upravljanja reagiraju na dobivene informacije i na temelju programiranih softverskih rješenja obavljaju niz aktivnosti. Kako osigurati da te upravljačke informacije obave preko konkretnih tehničkih sustava (zračno upravljani ventili) vrlo pouzdano svoj zadatak? To se može osigurati uz pouzdana tehnička rješenja jedino do detalja definiranim aktivnostima kontrole i održavanja za vrijeme eksploatacije.

U radu treba dati prijedlog unapređenja održavanja koje će osigurati maksimalnu pouzdanost.

- Trendovi razvoja sustava upravljanja održavanja tehničkim sustavima;
- Zakonske odredbe i dogovori vezani uz korištenje nuklearnih postrojenja;
- Uobičajena pravila u eksploataciji izabrane nuklearne elektrane;
- Postojeći pristupi sustavu održavanja;
- Organizacijska rješenja održavanja u nukleari Krško;
- Analiza postojećeg načina upravljanja održavanjem u odnosu na svjetske trendove;
- Razvoj i implementacija programa zračno upravljanih ventila (AOP);
- Prijedlog poboljšanja performansi AOP-a unapređenjem kvalitete održavanja.

Konkretno treba predložiti kvalitetniji sustav održavanja upravljačkih ventila o čijem ispravnom radu ovisi i ukupni pouzdani rad elektrane.

Zadatak zadan: *15. 06. 2010.*

Rad predan:

Mentor:

Ivo Čala
Dr.sc. Ivo Čala,
Izv.prof.

Predsjednik Odbora za
poslijediplomske studije:

Tomislav Filetin
Dr.sc. Tomislav Filetin,
red.prof.

Voditelj područja:

Nedeljko Štefanić
Dr.sc. Nedeljko Štefanić,
Izv.prof.

ZAHVALA

Želim zahvaliti direktoru ENCONET d.o.o., izuzetnom čovjeku i menadžeru, mr. sc.

Tomislavu Bajsu što je omogućio nastanak ovog rada.

Također zahvaljujem prof. dr. Ivi Čala, izuzetnom čovjeku i stručnjaku, na ukazanom putu ka stručnosti.

Sadržaj

- Predgovor
- Sažetak na hrvatskom jeziku
- Sažetak na engleskom jeziku
- Ključne riječi
- Popis oznaka
- Popis slika
- Popis tablica

1	UVOD	15
1.1	Osnovna podjela održavanja	16
1.2	Menadžment održavanja kao strateški čimbenik	17
1.3	Nuklearna opcija	18
1.3.1	Kyoto protokol	19
1.3.2	Energetska (ne)izvjesnost	19
1.4	Problematika zračno upravljanih ventila	21
2	NUKLEARNE ELEKTRANE (NE)	22
2.1	Osnovna podjela NE	23
2.2	NE s tlakovodnim reaktorom (PWR)	24
2.2.1	Komponente primarnog kruga	24
2.2.2	Sigurnosne mjere	26
2.2.2.1	Zaštitne barijere	27
2.2.2.2	Sigurnosne analize	28
2.3	Značajke održavanja tehničkih sustava NE	30
2.4	Remont postrojenja nuklearne elektrane	32
2.4.1	Strategija remonta nuklearnih postrojenja	33
2.4.2	Planiranje, priprema i optimizacija remonta	33
2.5	Nuklearne elektrane i ekologija	34
2.5.1	Općenito o ekologiji	35
2.5.2	Energija i ekologija	35
2.5.3	Utjecaj nuklearnih elektrana na okoliš	36

3	SUVREMENI TRENDОВI RAZVOJA ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SUSTAVA.....	38
3.1	Klasifikacija i značajke tehničkih sustava.....	38
3.1.1	Klasične i suvremene značajke.....	39
3.1.2	Značajka tehničkih sustava u NE.....	40
3.2	Strategije održavanja.....	41
3.2.1	Kreiranje strategije održavanja.....	42
3.2.2	Strateški okvir održavanja.....	43
3.3	Projektiranje procesa održavanja	45
3.3.1	Planiranje održavanja.....	47
3.3.2	Sustav radnih naloga.....	49
3.3.3	Troškovi održavanja.....	50
3.4	Računalom podržano upravljanje održavanjem (CMMS).....	51
3.5	Monitoring tehničkih sustava.....	52
3.6	Indikatori performansi.....	54
3.6.1	Svrha indikatora performansi.....	55
3.6.2	Indikatori performansi preventivnog održavanja.....	56
3.7	Kontinuirano poboljšanje.....	61
3.7.1	Održavanje usmjereno na pouzdanost – RCM.....	62
3.7.1.1	Elementi RCM-a.....	63
3.7.1.2	Implementacija RCM.....	64
3.7.2	Cjelovito Produktivno Održavanje – TPM.....	65
3.7.2.1	Ciljevi TPM-a.....	66
3.7.2.2	Ključni faktori uspjeha.....	67
4	STRATEGIJA POSLOVANJA I ODRŽAVANJA NEK-a.....	68
4.1	Organizacijska struktura NEK-a.....	69
4.2	Proizvodnja električne energije.....	70
4.2.1	Tehnološki i sigurnosni sustavi NEK-a.....	71
4.2.2	Zaštita od radioaktivnog zračenja.....	74
4.3	Strategija održavanja NEK-a.....	75

5	ANALIZA ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SUSTAVA NEK-a.....	80
5.1	Analiza postojećeg sustava održavanja.....	80
5.2	Prijedlog poboljšanja postojećeg sustava održavanja.....	83
5.2.1	Program prediktivnog održavanja.....	85
5.2.1.1	Razlozi implementacije.....	86
5.2.1.2	Tehnike prediktivnog održavanja.....	87
5.2.1.3	Konkretno beneficije programa.....	88
5.2.2	Benchmarking – poboljšavanje uspoređivanjem.....	89
5.3	Primjer poboljšanja održavanja u NE SAD-a i Japana.....	90
6	RAZVOJ I IMPLEMENTACIJA PROGRAMA GOSPODARENJA ZRAČNO UPRAVLJANIM VENTILIMA.....	93
6.1	Zračno upravljani ventili - AOV.....	93
6.1.1	Namjena i konstrukcijske izvedbe AOV-a	93
6.1.2	Sigurnosna funkcija AOV-a.....	97
6.1.3	Pomoćna oprema AOV-a.....	98
6.1.4	Upravljački sustav AOV-a.....	99
6.1.4.1	Regulacijski krug.....	99
6.1.4.2	Sustav instrumentacijskog zraka.....	100
6.1.5	Koncept održavanja AOV-a.....	101
6.2	Program gospodarenja zračno upravljanim ventilima.....	102
6.2.1	Kategorizacija AOV-a.....	104
6.2.2	Kontrola ključnih parametara.....	105
6.2.3	Kontrola funkcionalnosti AOV-a.....	106
6.2.4	Testiranje AOV-a.....	106
6.2.5	Preventivno održavanje.....	107
6.2.6	Stručno usavršavanje.....	107
6.2.7	Povratne informacije.....	107
6.2.8	Upravljanje dokumentacijom.....	108
6.2.9	Praćenje performansi AOV-a.....	108

7	UNAPREĐENJE ODRŽAVANJA ZRAČNO UPRAVLJANIH VENTILA.....	109
7.1	Utjecaj AOV-a na performanse NE.....	109
7.2	Kriteriji izbora odgovarajućeg AOV-a.....	111
7.3	Analiza i evaluacija performansi AOV-a.....	114
7.4	Prijedlog unapređenja održavanja AOV-a.....	117
7.4.1	Tehnička dijagnostika AOV-a	118
7.4.2	Analiza Osnovnih Uzroka Kvara (RCFA).....	123
7.4.3	Proaktivni pristup.....	125
8	ZAKLJUČAK.....	129
	LITERATURA.....	131
	ŽIVOTOPIS.....	134
	CURRICULUM VITAE.....	135

PREDGOVOR

Ovaj je rad zamišljen kao pokušaj da se na osnovu autorova znanja i iskustva iz područja održavanja, te iskustva u radu u Nuklearnoj Elektrani Krško (NEK), osmisli kvalitetan i primjenjiv koncept strategije održavanja, i to prvenstveno za zračno upravljane ventile, kao užeg područja specijalnosti, a koji bi obuhvatio sve bitne značajke, kako procesa, postrojenja i opreme u NE, tako i suvremenih principa menadžmenta održavanja te metodologije optimizacije procesa održavanja.

Nuklearna elektrana predstavlja procesno postrojenje za proizvodnju električne energije u kojoj se kao gorivo koriste radioaktivne tvari što je i osnovni razlog da se osigura maksimalna moguća sigurnost i pouzdanost tehničkih sustava od ispuštanja radioaktivnih tvari u okoliš. Populacija regulacijskih zračno upravljanih ventila koji služe za kontrolu procesa nuklearne elektrane, također pridonosi i njezinom sigurnom i pouzdanom funkcioniranju. Upravo stoga je neophodno osmisliti pouzdan način poboljšanja performansi kontrolnih ventila te, što je možda i najveći problem, održati taj nivo tijekom njihovog radnog vijeka.

Osim toga, želja je da se ovim radom da uvid u rad i sigurnost nuklearnih elektrana, s obzirom na rastući interes za ovim tipom postrojenja za proizvodnju električne energije i u našoj zemlji te da se ukaže na njihovu prihvatljivost i neophodnost.

Za nesmetan, siguran i pouzdan rad tehničkih sustava nuklearne elektrane od izuzetnog je značaja prvenstveno kvalitetan menadžment održavanja kao jedan od strateških faktora poslovanja, koji će biti sposoban kvalitetno osmisliti odgovarajući koncept strategije održavanja sustava, koji će, zajedno sa ostalim segmentima poslovanja, tvoriti stabilnu i neprobojnu sigurnosnu barijeru kao osnovu na kojoj je temeljen projekt, izgradnja te rad nuklearne elektrane.

SAŽETAK

Osnovna ideja ovog rada bila je dati uvid u izuzetno bitno područje kontrolnih ventila kao tipa opreme koji služi ne samo za kontrolu procesa, već i za postizanje optimalnih performansi nuklearnih elektrana. No, ono što je pri tome najbitnije, to je ispravan odabir strategije održavanja ovih ventila, kao garancije da će funkciju za koju su namijenjeni obavljati sigurno i pouzdano.

U radu je dan i pregled suvremenih trendova u području održavanja tehničkih sustava.

Osim toga, namjera je bila i dati kratak prikaz funkcioniranja nuklearnih elektrana te ukazati na njihov siguran i pouzdan rad, ekološku prihvatljivost te neminovnost. Kao primjer dan je detaljniji prikaz strategije poslovanja i održavanja Nuklearne Elektrane Krško (NEK).

I na kraju, dat je i pregled razvoja i implementacije AOV programa, detaljne informacije u svezi utjecaja AOV-a na funkcioniranje NE te konkretne dobiti nakon optimizacije njihovih performansi, u svrhu čega je predložen i način unapređenja održavanja ovih ventila.

SUMMARY

The basic idea of this paper is to provide insight into the very important field of control valves as a type of equipment that is used not only for process control, but also for achieving optimal performances of nuclear power plants. What is most important is the correct selection of maintenance strategy for these valves, as a guarantee that the function for which they are designed will be performed safely and reliably.

Also, this paper gives an overview of contemporary trends in the field of technical systems maintenance.

Besides, the intention was also to give a presentation of the functioning of nuclear power plants and point to their safe and reliable operation, environmental acceptability and inevitability. As an example, a more detailed strategy for operation and maintenance of Nuclear Power Plant Krško (NEK) is given.

At the end, the review of the development and implementation of AOV program is given, as well as detailed information regarding the impact of AOV operation on NPP performances, including all related benefits, for which purpose the maintenance improvement of these valves is recommended.

KLJUČNE RIJEČI

Kontrolni ventil
Menadžment održavanja
Nuklearne elektrane
Održavanje
Pouzdanost
Raspoloživost
Unapređenje održavanja
Zračno upravljani ventil

POPIS OZNAKA

AOV	Air-Operated Valve (Zračno upravljani ventil)
CMMS	Computerized Maintenance Management system (Računalni sustav za upravljanje održavanjem)
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis (Analiza utjecaja i posljedica kvara)
IAEA	International Atomic Energy Agency (Međunarodna agencija za atomsku energiju)
INPO	Institute of Nuclear Power Operations (Institut za nuklearne operacije)
ISI	In-Service Inspection (Kontrola opreme za vrijeme eksploatacije)
IST	In-Service Testing (Testiranje opreme za vrijeme eksploatacije)
JIT	Just-in-time (Na vrijeme)
NE	Nuklearna elektrana
NEK	Nuklearna Elektrana Krško
NDT	Non Destructive Testing (Testiranje bez razaranja)

POPIS OZNAKA

NPP	Nuclear Power Plant (Nuklearna elektrana)
PSA	Probabilistic Safety Assesment (Sigurnosne analize)
PWR	Pressurized Water reactor (Tlakovodni reaktor)
RBM	Reliability Based Maintenance (Održavanje bazirano na pouzdanosti)
RCFA	Root Cause Failure Analysis (Analiza osnovnih uzroka kvara)
RCM	Reliability Centered Maintenance (Održavanje usmjereno na pouzdanost)
SAD	Sjedinjene Američke Države
SSC	Systems, Structures and Components (Sustavi, Strukture i Komponente)
TPM	Total Productive Maintenance (Cjelokupno proizvodno održavanje)
TS	Tehnički Sustav

POPIS SLIKA

<i>Oznaka</i>	<i>Naziv</i>	<i>Strana</i>
1.1	Osnovni koncepti održavanja	17
2.1	Usporedba parametara kružnog procesa u nuklearnoj i klasičnoj elektrani	22
2.2	Shema nuklearne elektrane s tlakovodnim reaktorom	23
2.3	Komponente primarnog kruga	25
2.4	Zaštita okoliša po dubini	28
2.5	Strategija održavanja NE	31
3.1	Trend razvoja održavanja tehničkih sustava	42
3.2	Utjecajni faktori na troškove održavanja	43
3.3	Model strategije održavanja	44
3.4	Proces donošenja odluka o vrsti održavanja	45
3.5	Krivulja kade	47
3.6	Odnos troškova održavanja i raspoloživosti	50
3.7	Moduli informatičkog sustava	51
3.8	RCM proces	64
3.9	Faze implementacije RCM-a	65
3.10	Elementi TPM-a	66
4.1	Sustav upravljanja NEK-om	68
4.2	Organizacijska struktura NEK-a	69
4.3	Kontinuirani monitoring turbine NEK-a	77
4.4	Kontinuirani monitoring reaktorske pumpe NEK-a	78
4.5	Kontinuirani monitoring generatora NEK-a	78
6.1	AOV s pomoćnom opremom	94
6.2	Tipovi aktuatora	95
6.3	Cilindar aktuator s oprugom	96
6.4	AOV ovisno o tipu ventila	96

POPIS SLIKA

<i>Oznaka</i>	<i>Naziv</i>	<i>Strana</i>
6.5	Regulacijski krug kontrolnog ventila	99
6.6	%-tak implementiranih AOV programa u NE u SAD	104
6.7	Princip kategorizacije AOV-a	105
7.1	Najčešći uzroci otkaza AOV-a	109
7.2	Utjecaj kvarova AOV-a na devijacije snage	110
7.3	Gubici snage NE uzrokovani slabim performansama AOV-a	111
7.4	Frekvencije pojave kvara po komponentama AOV-a	115
7.5	Frekvencije pojave kvara na AOV-ima	117
7.6	Pojednostavnjeni proces dijagnostike AOV-a	118
7.7	CRANE Nuclear VIPER20 testna oprema	122
7.8	Predloženi koncept održavanja AOV-a	128

POPIS TABLICA

<i>Oznaka</i>	<i>Naziv</i>	<i>Strana</i>
5.1	Ključni ciljevi procesa optimizacije	84
7.1	Zastupljenost pristupa održavanja	126

1. UVOD

Što predstavlja održavanje i koja mu je svrha? Već dugi niz godina održavanje u razvijenim zemljama Evrope i svijeta predstavlja granu privrede. U manje razvijenim zemljama, i zemljama u tzv. tranziciji, u koje ubrajaju i Hrvatsku, održavanje još uvijek nije postiglo, ili bar ne svugdje, onaj nivo shvaćenosti i prihvaćenosti koji ono i zaslužuje. Danas još uvijek postoji određeni broj svjetskih kompanija koje zanemaruju jedan od osnovnih elemenata uspjeha – održavanje imovine (*asset management*). U većini takvih organizacija posao pati upravo zbog toga što se tom, izuzetno bitnom, segmentu poslovanja ne posvećuje potrebna pažnja. Zvuči nevjerovatno, ali održavanje je još uvijek za neke „nužno zlo“, nepotrebno i neisplativo. Na početku XXI. stoljeća, ovakve tvrdnje podsjećaju na srednjovjekovno razmišljanje, kada su tehnička znanja bila u povojima, a održavanje se svodilo na osnovni minimum ili ga nije niti bilo. No, jedno je sigurno. Današnje tvrtke koje ne vode računa o održavanju, ne mogu opstati na izuzetno okrutnom tržištu, gdje konkurencija tjera na stalna poboljšanja i unapređenja te napredna razmišljanja i pristup s ciljem povećanja kvalitete proizvoda i usluga, pazeći pri tome, naravno, i na troškove.

Zadnjih su se desetljeća u oblasti održavanja tehničkih sustava desile bitne promjene koje su dovele i do promjene stava prema održavanju, do promjene uloge održavanja u poduzećima gdje ono postaje funkcija od strateškog značaja. Promjene koje su to uzrokovale su sljedeće:

- strojevi i oprema postaju sve kompleksniji,
- kvarovi i otkazi opreme bitno smanjuju proizvodnost te negativno utječu na procese,
- zahtijeva se sve veća raspoloživost i pouzdanost opreme i postrojenja,
- sve stroži propisi iz područja sigurnosti i ekologije.

Ovime održavanje poprima jednu novu dimenziju, postaje jedna od najznačajnijih poslovnih funkcija svake organizacije.

Osnovna standardna definicija održavanja glasi: "Održati postojeće stanje, zaštititi od kvara ili otkaza". Međutim, činjenica je da se danas održavanje definira kao proizvodna funkcija, pri čemu je ključna pretpostavka da je proizvod održavanja radna sposobnost. Održavanje ne proizvodi uslugu.

Pri tome, kvar predstavlja prestanak sposobnosti elementa da izvodi zahtijevanu funkciju. (HRN EN 13306)

Hrvatska norma HRN EN 13306, također kaže da je održavanje:

„Kombinacija svih tehničkih, administrativnih i menadžerskih postupaka tijekom vijeka trajanja nekog elementa s ciljem zadržavanja ili vraćanja elementa u stanje u kojem može izvoditi zahtijevanu funkciju.“

Pri tome, pojam *element* ima sljedeću definiciju (HRN EN 13306):

"Element je bilo koji dio, komponenta, uređaj, podsustav, funkcijska jedinica, oprema ili sustav, koji se može razmatrati pojedinačno."

Što dobivamo održavanjem fizičke imovine s istom brigom i pažnjom kako održavamo i ljudske i financijske potencijale? Dobiva se, odnosno povećava, prvenstveno vrijeme raspoloživosti tehničkih sustava (*uptime, availability*), tj. imovine, da obavlja funkciju za koju je namijenjena. Osim toga, povećava se i sposobnost procesa da proizvodi proizvode i usluge s ciljem zadovoljenja potreba kupaca. I na kraju, možemo pružiti sigurno i kontrolirano radno (proizvodno) i uslužno okruženje s minimumom rizika.

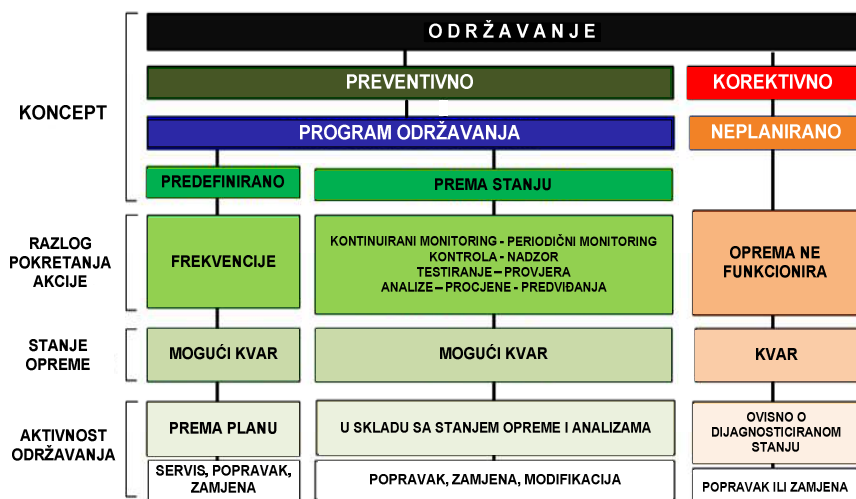
1.1 Osnovna podjela održavanja

Održavanje je djelatnost kojom se trebaju sačuvati sva bitna svojstva opreme i postrojenja za siguran rad i pouzdano funkcioniranje tijekom predviđenog vremena eksploatacije. Održavanje postrojenja ima svoj preventivni i korektivni dio (slika 1.1).[1]

Preventivno održavanje podrazumijeva nadzor i podešavanje rada uz sprečavanje kvarova pravodobnim zamjenama potrošnih dijelova ili vršenje manjih popravaka (zamjena ulja i filtera, osigurača i planirane veće zahvate-remonti i sl.), dok **korektivno održavanje** podrazumijeva i popravke većih kvarova, kao i dopune sustava koji omogućavaju da postrojenje kontinuirano radi vršeći zadanu funkciju.

Sastavni dio, osim održavanja funkcije postrojenja, su razni kontrolni i inspekcijski pregledi koji se moraju obavljati prema pravilnicima u točnim vremenskim terminima, radi provjere sigurnosnih mjera koje su u pogonu poduzete da ne dođe do stradavanja ljudi zbog strujnog udara, požara i sl. kao i bilo kojeg drugog štetnog utjecaja na ljude i okoliš.

U osnovnu podjelu održavanja danas se ubraja i **održavanje po stanju**, unutar kojeg se vrši praćenje stanja opreme (monitoring, testiranje) s ciljem ranog detektiranja kvara te pravovremenog djelovanja.



Slika 1.1 Osnovni koncepti održavanja

1.2 Menadžment održavanja kao strateški čimbenik

S obzirom na smisao, svrhu i potrebu za održavanjem, neophodno je djelatnost održavanja prepoznati i prihvatiti kao jedan od ključnih strateških segmenata svake organizacije. Kako bi djelatnost održavanja mogla u punoj mjeri doprinijeti povećanju profita tvrtke, produktivnosti, nesmetanom tijeku proizvodnje, pouzdanosti, raspoloživosti te sveukupnoj kvaliteti, ona mora biti prepoznata i prihvaćena kao integralna komponenta proizvodne strategije, neizostavan i bitan dio sveukupnog plana stvaranja vrijednosti putem izrade proizvoda za krajnjeg korisnika, zahtijevane kvalitete, u dogovorenom roku i prihvatljive cijene.

Pritisci kojima je često izložena proizvodnja, radi poštivanja rokova isporuke, često uzrokuju odgađanje neophodnih zahvata održavanja na proizvodnoj opremi što ima za posljedicu ubrzano trošenje opreme i gubitak traženih tolerancija što može imati dugoročno negativan utjecaj na kvalitetu finalnog proizvoda, troškove i efikasnost.

Naravno da, što je i logično, proizvodna funkcija ima prioritet pred ostalim područjima pa tako i pred održavanjem.

Međutim, troškovi proizvodnje nastali zanemarivanjem lošeg stanja proizvodne opreme, neizostavno vode do povećanog vremena koje će oprema provesti u otkazu s obzirom na povećan obim korektivnih aktivnosti i hitnih zahvata. Krajnji je rezultat takvog zanemarivanja i loše održavana oprema te pad pouzdanosti opreme u radu. S obzirom na dulji period opreme u otkazu, proizvodnja stagnira te je upitan i profit tvrtke. I što je najgore, neminovan je i gubitak povjerenja kupaca.

Dakle, kao rezultat nepravovremenog održavanja proizvodne opreme javlja se pad kvalitete proizvoda, pad produktivnosti, dulje vrijeme potrebno za popravke i neplanirane zastoje te nepravovremena isporuka.

Poruka je jasna – da bi održavanje obavljalo svoj posao kvalitetno i na vrijeme, kako bi ispunilo svoju misiju, neophodna je uska suradnja svih odjela i službi unutar kompanije (proizvodnja, računovodstvo, nabava, održavanje, itd.), ali prvenstveno između proizvodnje i održavanja.

Sposobnost kompanije da postigne i održi izvrsnost („*World Class*“ status) ovisi prvenstveno o tome koliko će kvalitetno uspjeti postići zajedničko djelovanje svih funkcija u svrhu ispunjavanja svojih strateških ciljeva.

1.3 Nuklearna opcija

Kada se govori o upotrebi nuklearne energije za proizvodnju električne energije, neizostavno se nameću četiri osnovna područja vezana za opstojnost nuklearnih elektrana (pitanje same sigurnosti biti će obrađeno u kasnijim poglavljima), koja se moraju detaljno razraditi prije početka izgradnje jedne nuklearne elektrane, a ta područja jesu [2]:

- rizici pogona nuklearne elektrane,
- skladištenje (odlaganje) radioaktivnog otpada,
- zatvaranje nuklearne elektrane, te
- ekonomska isplativost.

Svaki investitor mora, prije nego uđe u takav veliki i skupi projekt, napraviti ekonomsku analizu i prema određenim kriterijima određuje isplativost izgradnje nuklearne elektrane. Također, to je pitanje više namijenjeno ekonomskim i pravnim stručnjacima.

Međutim, dokazano je kroz dosadašnji rad nuklearnih elektrana da su one višestruko isplative. Niti jedna nuklearna elektrana u svijetu do sada nije zatvorena radi neisplativosti. Za zemlju kakva je Hrvatska, samo jedna nuklearna elektrana značila bi jako puno. Ne samo da bismo imali i više nego dovoljne količine električne energije za vlastitu uporabu, nego bi preostalo i za izvoz u susjedne zemlje.

1.3.1 Kyoto protokol

S obzirom na postojeću problematiku zagađenja okoliša i proizvodnje velikih količina CO₂ putem elektrana na fosilna goriva čime se potpomaže efekt staklenika, konačno se i u Hrvatskoj počelo ozbiljnije razmišljati o nuklearnoj alternativi. Pogotovo stoga što smo, prihvaćanjem protokola iz Kyota, preuzeli obvezu smanjenja emisije CO₂ u atmosferu za 5% do 2012. godine.

Što bi to konkretno značilo za Hrvatsku? Na Fakultetu elektrotehnike i računarstva (FER) u Zagrebu rađene su detaljne analize emisija CO₂ u atmosferu kao nusprodukt elektrana u Hrvatskoj te se došlo do nepobitnog zaključka da Hrvatska, zapravo, preuzetu obavezu iz Kyota ne može ispuniti barem u ovom trenutku. Zašto? Kao prvo, tih 5% predstavlja za našu zemlju jako puno, što znači da bismo praktički morali prihvatiti i naviknuti se na život sa stalnim redukcijama u isporuci električne energije, i to danas kada smo neizlječivo ovisni o njoj. Sljedeći zaključak do kojeg se došlo je taj da bi se uvjet o 5%-tnom smanjenju mogao ispoštovati ali samo pod jednim uvjetom – da Hrvatska ima DVIJE nuklearne elektrane. [3]

Što je u stvari značio protokol potpisan u Kyotu? Kratko i jasno – poticaj povećanju udjela količine električne energije proizvedene u nuklearnim elektranama, odnosno poticaj gradnji novih i to ne samo u razvijenim zemljama nego i u zemljama u razvoju što bi obuhvatilo i Hrvatsku a sve s ciljem smanjenja sveukupnog onečišćenja jedine nam (zasad) planete.

1.3.2 Energetska (ne)izvjesnost

Energija je ključni čimbenik čovjekova razvoja i osiguranja životnog standarda, pri čemu je jedan od njezinih najvažnijih oblika električna energija. Njezino korištenje u svijetu raste s obzirom na stupanj i brzinu društveno-ekonomskoga razvoja.

S druge pak strane, raspoloživi se izvori primarne energije iz kojih dobivamo električnu energiju smanjuju ili su već u velikoj mjeri iskorišteni. Dakle, svrsishodno je koristiti sve raspoložive izvore, pa tako i nuklearnu energiju. Prema nekim procjenama, ležišta nuklearnog goriva mogu izdržati još maksimalno 150 – 200 godina. No, do tada bi **fisijski reaktori**, kakve koristimo danas, već trebali biti zamijenjeni **fuzijskima**, koji su danas u testnoj fazi, a koji su ekonomičniji i za koje goriva ima u izobilju. [2]

S obzirom da je danas praktički nemoguće zamisliti život bez električne energije i korištenja trošila poput televizora, kompjutera, hladnjaka i sl., nuklearne elektrane (uz termo i hidro elektrane) predstavljaju jednu od osnovnih djelatnosti za osiguranje normalnog života ljudi na zemlji (barem onog većeg dijela, s obzirom na činjenicu da skoro dvije milijarde ljudi na zemlji, dakle trećina čovječanstva, nema tu privilegiju).

Zahtjevi koji se postavljaju u pogledu zaštite okoliša tijekom proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama izuzetno su rigorozni, s obzirom da zagađivanje okoliša postaje globalan problem.

Dobro konstruirane nuklearne elektrane pokazale su se pouzdanima, sigurnima, ekonomski prihvatljivima i ekološki dobroćudnima, i to bez obzira na neargumentirane napade od strane laika i tzv. „zelenih“, te bez obzira s kojeg mjesta uzimale vodu za hlađenje - iz rijeke, jezera ili mora.

Kao i svi procesi proizvodnje energije iz neobnovljivih izvora, tako i nuklearne elektrane proizvode otpad, a kod njih je to radioaktivni otpad i vruća voda.

Međutim, što je od izuzetnog značaja za život na zemlji, nuklearne elektrane ne proizvode ugljikov dioksid koji potpomaže povećavanje efekta staklenika, niti na bilo koji drugi način zagađuju životnu sredinu. Što se tiče tzv. alternativnih izvora energije, poput vjetroelektrana i solarnih ćelija, treba reći da su ovi izvori ne samo neisplativi, a uz to je i materijal za izradu solarnih ćelija izrazito otrovan, nego se ne mogu niti nazivati alternativnima s obzirom da, po količini proizvedene energije, ne mogu niti približno zamijeniti klasične, a pogotovo nuklearne elektrane. Ispravan bi naziv za njih bio „pomoćni“ izvori energije, s obzirom da bi mogli generirati određenu manju količinu energije i to vrlo kratko vrijeme.

Po svemu sudeći, nuklearnoj energiji u budućnosti nema alternative. Hrvatska će trebati, kao sve europske zemlje, u procesu ispunjenja obveza očuvanja klime napraviti analizu razdoblja do 2050. godine i donijeti strateške odluke o razvoju energetskog sektora.

Za očekivati je da jedna od strateških odluka budu i nuklearne elektrane, ukoliko se, naravno, bude slušala riječ stručnjaka. Švicarska, npr., koja je pojam čistoće i urednosti, kreće u gradnju već šeste nuklearne elektrane. Znači li to da su oni primitivci koji su odlučili uništiti i zagaditi svoju zemlju, da su divljaci koji ne znaju što je najbolje za njih? Naravno da ne. Uvijek su nam bili uzor u svemu, zašto to ne bi bili i sada?

1.4 Problematika zračno upravljanih ventila

Zračno upravljani ventili (u daljem tekstu AOV – *Air Operated Valves*), predstavljaju jednu od najvažnijih karika u lancu sigurnosti svake nuklearne elektrane i to upravo stoga što pomoću njih upravljamo procesima NE, korigiramo poremećaje u procesu te utječemo na sigurnost, pouzdanost, raspoloživost i efikasnost NE u cjelini.

Upravo zbog svog značaja koji imaju za siguran i pouzdan rad nuklearne elektrane, osnovna populacija ovih ventila mora biti uzeta u obzir kao zasebna grupacija prilikom izbora strategije održavanja tehničkih sustava.

Nažalost, politika u NEK-u je takva da se projekti vezani uz određeni tip opreme, kao u ovom slučaju za implementacija programa zračno upravljanih ventila, ne pokreću dok za to ne dođe nalog od, npr. Uprave Republike Slovenije za Jedrsko Varnost (Uprava za nuklearnu sigurnost), Westinghouse-a ili NRC-a (*Nuclear Regulatory Commission*).

Dakle, spremni su čekati bez obzira na značaj same opreme na sigurnost i funkcionalnost kako pojedinih sustava tako i elektrane u cjelini. To, naprotiv, ne znači da se o opremi ne vodi briga, samo ne na onaj način i onim intenzitetom koji ona to i zaslužuje.

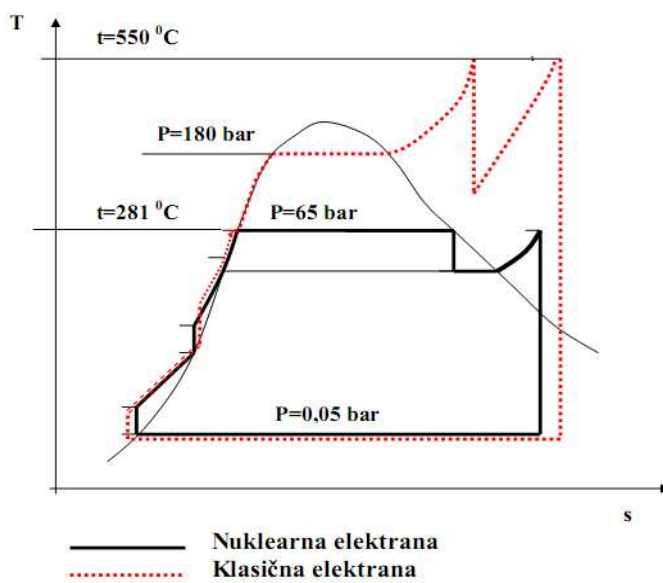
Međutim, ono što se nameće kao osnovni problem vezano za AOV-e, to je, po mom sudu, nedostatak osjećaja, ili možda bolje reći, nedostatak svijesti o značaju održavanja, za neophodnost provođenja nekih osnovnih aktivnosti (RCM, RCA, dijagnostika stanja s praćenjem ključnih parametara) s ciljem da se u svakom trenutku zna u kojem se stanju ventili nalaze te da se kvarovi eliminiraju u samom začetku i trajno, što je od presudnog značaja za sigurno, pouzdano i kontinuirano funkcioniranje kako kritičnih AOV-a, tako i nuklearne elektrane u cjelini.

Upravo zbog svega navedenog, imperativ svake NE mora biti težnja za poboljšavanjem održavanja AOV-a s ciljem optimiziranja njihovih performansi te što je i najveći problem, održanja visokih performansi tijekom cijelog radnog vijeka AOV-a.

2 Nuklearna elektrane (NE)

Nuklearne elektrane energetska su postrojenja u kojima se toplinska energija, dobivena nuklearnim reakcijama u nuklearnom gorivu, posredstvom djelovanja pare pod visokim pritiskom, transformira u električnu energiju. Osnovna razlika nuklearnih i klasičnih elektrana je u načinu na koji se generira toplina potrebna za zagrijavanje vode. Kod klasičnih se elektrana koriste fosilna goriva i parni kotao, dok je kod NE u pitanju nuklearno gorivo u reaktorskoj posudi. Svi su drugi dijelovi praktički isti osim, naravno, nekih specifičnosti vezanih prvenstveno na pitanje sigurnosti kod NE.

Proces pretvorbe toplinske energije u električnu isti je u oba tipa elektrana, a radi se o Rankine-ovom kružnom procesu. Usporedba parametara procesa može se vidjeti na slici 2.1. [4]

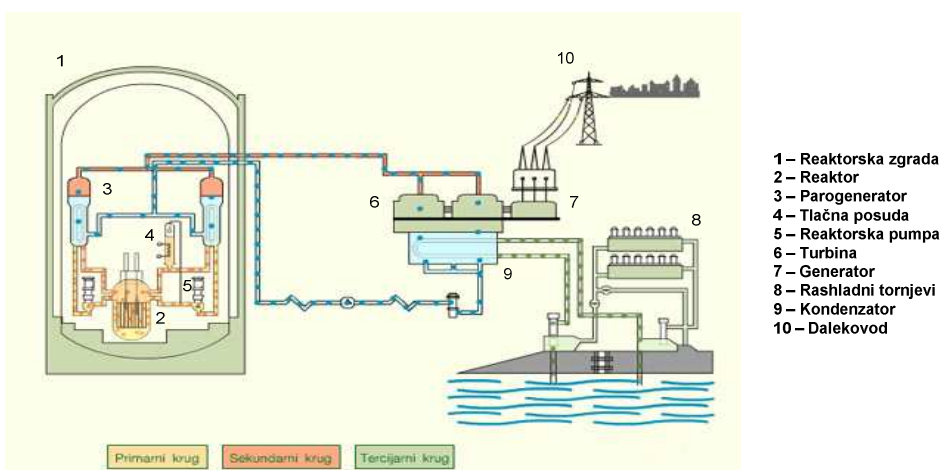


Slika 2.1 Usporedba parametara kružnog procesa u nuklearnoj i klasičnoj elektrani

Tehnološki dio nuklearne elektrane podijeljen je u tri osnovna termodinamička sklopa ili kruga:

- primarni (reaktor)
- sekundarni (parogeneratori)
- tercijarni (turbina, kondenzator, rashladni tornjevi).

Jednostavna shema NE s tlakovodnim reaktorom, kakva je izgrađena u Krškome, zajedno sa osnovnim komponentama prikazana je na slici 2.2. [4]



Slika 2.2 Shema NE s tlakovodnim reaktorom

2.1 Osnovna podjela NE

Podjela nuklearnih elektrana vrši se ovisno o tipu reaktora koji je u njih ugrađen. Pri tome se razlikuju:[5]

- reaktori hlađeni i moderirani običnom vodom
 - **reaktori hlađeni vodom pod tlakom (PWR)**
 - reaktori hlađeni kipućom vodom (BWR)
- reaktor hlađen i moderiran teškom vodom (HWR)
- reaktor moderiran grafitom i hlađen CO_2 (AGR)

- reaktor moderiran grafitom i hlađen kipućom vodom (RBMK)
- reaktor moderiran grafitom i hlađen helijem (HTGR)
- reaktor hlađen tekućim metalom (LMFBR).

S obzirom da nuklearna elektrana u Krškom koristi reaktor hlađen vodom pod tlakom (PWR – *Pressurized Water Reactor*), ovo će reaktorsko postrojenje biti nešto detaljnije opisano da se dobije jasnija predodžba kako o osnovnim komponentama koje čine primarni krug NE, tako i o položaju i značaju AOV-a za siguran rad nuklearnog postrojenja.

2.2 NE s tlakovodnim reaktorom (PWR)

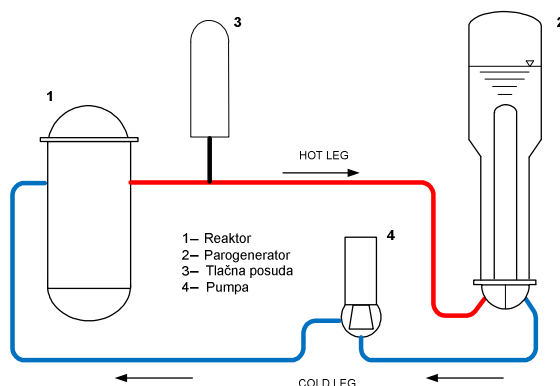
Tlačni su reaktori danas najrašireniji u nuklearnim elektranama u svijetu radi svoje jednostavnosti i upotrebe obične vode za hlađenje reaktora i usporavanje neutrona. Upotreba vode ima svoje prednosti ali i mane. Prednosti su vode njezina raspoloživost, niska cijena i djelotvorno usporavanje neutrona.

Mana je vode niska temperatura vrelišta, tj. voda isparava pri puno nižoj temperaturi od one koja se razvija u reaktoru, tako da njezina upotreba zahtjeva korištenje visokog tlaka. Osim toga, reaktori, koji koriste vodu kao moderator, moraju imati obogaćeno gorivo, koje je opet skuplje, ali ono dopušta izmjenu u dužim vremenskim intervalima (oko 18 mjeseci), čime se znatno pojednostavnjuje pogon nuklearne elektrane. Za primjer, ovakvi tipovi reaktora pogodni su za primjenu u propulziji plovnih objekata (npr. nuklearne podmornice).

2.2.1 Komponente primarnog kruga

Pod osnovne komponente primarnog kruga ubrajaju se reaktor, reaktorska pumpa i tlačna posuda, dok parogeneratori ulaze i u primarni i u sekundarni krug (slika 2.3).

Izvedba nuklearne elektrane s tlakovodnim reaktorom zasniva se na principu dvaju odvojenih rashladnih krugova: rashladnog kruga reaktora (primarni krug) i rashladnog kruga parogeneratora (sekundarni krug).



Slika 2.3 Komponente primarnog kruga

Jezgra reaktora izvor je toplinske energije u primarnom krugu elektrane, a čine je gorivni elementi, regulacijske i zaustavne šipke, moderator, rashladni fluid i konstrukcijski elementi. Dakle, svi materijali i sklopovi potrebni za ostvarenje samoodržavajuće lančane reakcije, njenu kontrolu i odvod generirane topline. Veličina jezgre reaktora i broj gorivnih elemenata u njoj ovise o snazi reaktora.

Reaktor se hladi s više rashladnih krugova (na slici 2.3 prikazan je jedan rashladni krug), sastavljenih od parogenerators, pumpi i primarnih cjevovoda. Parogeneratori su izmjenjivači topline specijalne izvedbe čije je zadatak toplinsku energiju, nastalu u primarnom krugu, prenijeti na sekundarni krug, odnosno na radni medij u turbinskom ciklusu. Sekundarni fluid u parogeneratoru je kipuća voda. Voda ulazi u parogenerator s temperaturom nešto nižom od temperature zasićenja, u njemu se dogrijava i zatim isparava.

Tlačna posuda ili tlačnik (*pressurizer*) je, u osnovi, električni bojler kod kojeg volumen pare iznad razine vode elastično održava tlak u primarnom krugu, pri čemu su na gornjem djelu tlačnika mlaznice za ubrizgavanje hladne vode, a na dnu grijači. Budući su rashladne petlje hidraulički povezane, dovoljan je samo jedan regulator tlaka za sve rashladne krugove.

Cjevovodi primarnog kruga povezuju reaktor, parogeneratore i primarne pumpe. Sastoje se od triju grana: tople (između reaktora i parogenerators), hladne (između pumpe i reaktora) i poprečne (između parogenerators i pumpe).

Komponente primarnog kruga smještaju se u veliku zaštitnu (rektorsku) zgradu koja je dimenzionirana da izdrži tlak koji bi u njoj nastao pri većem lomu komponente primarnog kruga (redovito se pretpostavlja lom jednog od primarnih cjevovoda, tzv. LOCA – *Loss of Coolant Accident*), a taj bi tlak iznosio oko 0,35 MPa (~3,5 bara).[5]

2.2.2 Sigurnosne mjere

Jedan od temeljnih uvjeta za prihvatljivost nuklearne elektrane kao energetskeg objekta čini sigurnost, koja se postiže nizom mjera kako u fazi projektiranja tako i u gradnji te tijekom pogona. Svaki prodor radioaktivnih tvari iz rektorske zgrade u okoliš ugrozio bi zdravlje i život stanovništva u neposrednoj okolini NE. To je i osnovni razlog što je sigurnost nuklearne elektrane određena stupnjem osiguranja okoliša od mogućnosti takovih prodora.

Sigurnost nuklearnih elektrana može se promatrati s najmanje četiri aspekta:[5]

1. sigurnost rada elektrane,
2. sigurnost odlaganja radioaktivnih materijala i goriva te dekomisija (demoniranja i uklanjanja) elektrana,
3. sigurnost tržišta goriva i
4. sigurnost od terorističkih napada.

Što se tiče posljednjeg aspekta, sigurnosti od terorističkih napada, potrebno je istaći da je rađeno nekoliko studija u svijetu o ovoj temi i to neovisno, te da se je došlo do nepobitne činjenice da su nuklearne elektrane, zapravo, najsigurnija mjesta u slučaju terorističkog napada. Rektorska zgrada je izuzetno otporna na napade izvana (betonski zid debeo je 1 metar a čelični zid unutar zgrade 40 mm), dok je unos eksplozivnih sredstava u krug nuklearne elektrane nemoguć. Osim toga, rektorska je zgrada projektirana tako da podnese potres jačine 9 stupnjeva po *Mercallijevoj* ljestvici.

Sigurnosni sustavi osiguravaju integritet vitalne opreme, omogućuju siguran rad zaposlenih i sprečavaju negativne utjecaje na okoliš, a osim toga onemogućuju nekontrolirano oslobađanje radioaktivnih tvari u okoliš. Nuklearnoj sigurnosti već je u fazi planiranja reaktora i projektiranja elektrane posvećena velika pozornost.

Projektirani su zaštitni sustavi koji u svim radnim stanjima, čak i u slučaju otkazivanja određene opreme, osiguravaju zaštitne funkcije.

Nuklearna je elektrana u sigurnome stanju ako su u svakom trenutku ispunjena **tri osnovna sigurnosna uvjeta**: [5]

- učinkovit nadzor nad snagom reaktora
- hlađenje nuklearnoga goriva u reaktoru
- zadržavanje radioaktivnih tvari (onemogućeno oslobađanje radioaktivnih tvari u okoliš).

2.2.2.1 Zaštitne barijere

Osnovna je filozofija projektiranja nuklearne elektrane sa stajališta sigurnosti tzv. **obrana po dubini**, koja se sastoji od više mjera za očuvanje funkcije opreme i sustava bitnih za sigurnost, i to na način da one, u pogledu zaštite okoliša, djeluju serijski, jedna nakon druge.

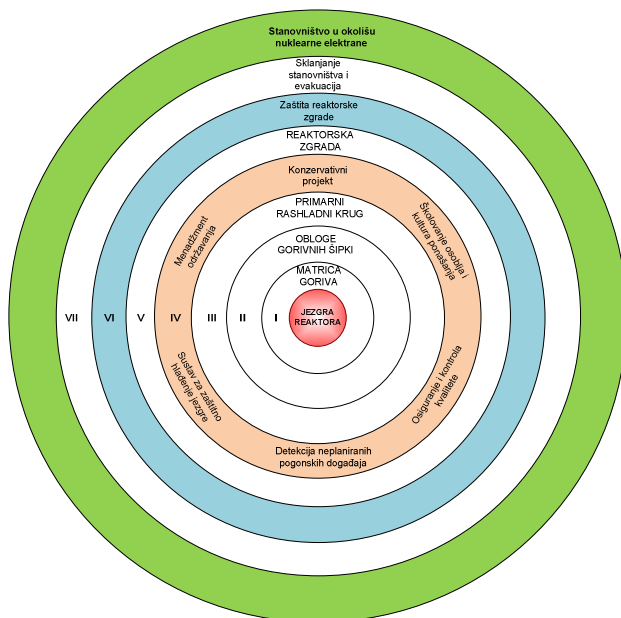
Ovi su načini obrane, te njeni sustavi i mjere prihvaćeni od strane Savjetodavne grupe za nuklearnu sigurnost (INSAG – *International Safety Advisory Group*), koja djeluje u okviru Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA). [5]

Obrana po dubini ogleda se u zaštiti stanovništva nizom serijski postavljenih barijera, koje se mogu razmatrati kao stvarne, fizičke barijere.

U nuklearnim elektranama postoje **4 serijski postavljene fizičke barijere** koje sprečavaju prodor radioaktivnih tvari u okoliš: [5]

- matrica nuklearnog goriva (I)
- obloga gorivih šipki (II)
- primarni rashladni krug (III)
- reaktorska zgrada (V).

Prikaz obrane po dubini sa svim fizičkim barijerama i mjerama njihova očuvanja prikazani su na slici 2.4.



Slika 2.4 Zaštita okoliša po dubini

Segmenti, navedeni unutar barijere IV, predstavljaju tehničke sustave te mjere koje poduzimaju sudionici u projektiranju, gradnji i pogonu nuklearne elektrane, radi osiguranja i poboljšanja djelotvornosti ostalih zaštitnih barijera.

Kao posljednja se mjera, u veoma malo vjerojatnom slučaju, primjenjuje plan evakuacije stanovništva.

Jedan od neizostavnih segmenata pri stvaranju sigurnosnih barijera, kako je vidljivo iz slike, je i menadžment održavanja kao bitan dio IV barijere, koji svojim djelovanjem čini jednu od najvažnijih karika u lancu sigurnog i nesmetanog rada nuklearne elektrane.

2.2.2.2 Sigurnosne analize

U prethodnom je poglavlju detaljno navedeno što se u nuklearnim elektranama poduzima s ciljem podizanja sigurnosti na najviši mogući nivo, tzv. obrana po dubini. Međutim, to nije sve što se tiče sigurnosti nuklearnih elektrana. Bez obzira na činjenicu da se pri projektiranju i gradnji poduzimaju sve propisane mjere opreza protiv pojave

kvarova na opremi i sustavima, dakle još jedan segment gdje do izražaja dolazi menadžment održavanja, ipak se mora računati s mogućnošću pojave kvarova tijekom pogona elektrane. Kako bi se ublažile posljedice eventualnih kvarova, neophodno je predvidjeti njihov utjecaj na postrojenje. U tu se svrhu analize rade s modelima postrojenja, bilo fizičkim, bilo matematičkim.

Propisima državnih organa zaduženih za nuklearnu sigurnost, definiraju se skupine kvarova koje se analiziraju za svako nuklearno postrojenje zasebno. Rezultati se tih analiza uključuju u sigurnosni izvještaj postrojenja, koji predstavlja temeljni dokument kojim se dokazuje sigurnost nuklearne elektrane.

Kada je riječ o mogućim kvarovima na nuklearnim energetske postrojenjima, bitno je potražiti odgovore na dva pitanja: [5]

1. Kakve posljedice po sigurnost postrojenja mogu izazvati specificirani kvarovi i prijelazne pojave?
2. Koja je vjerojatnost nastanka kvara na opremi i sustavima, i to posebno vjerojatnost težih kvarova?

Znanstveno zasnovana procjena sigurnosti i rizika okoline od rada objekta temelji se na sljedećim analizama, a u skladu s postavljenim pitanjima: [5]

- determinističkim analizama,
- analizama vjerojatnosti.

Determinističke analize su analize posljedica određenih kvarova na opremi u nuklearnoj elektrani, dok se analize vjerojatnosti bave pojavom kvarova na pojedinim sustavima i vjerojatnosti utjecaja tih kvarova na integritet jezgre i ispuštanje radioaktivnih tvari u okoliš.

Pod analize vjerojatnosti spadaju vjerojatnosti utvrđivanja rizika (PRA – *Probabilistic Risk Assessment*) i vjerojatnosno utvrđivanje sigurnosti (PSA – *Probabilistic Safety Assessment*). [5]

2.3 Značajke održavanja tehničkih sustava NE

Održavanje igra važnu ulogu u upravljanju fizičkom imovinom nuklearnih elektrana. U nuklearnim elektranama fizičku imovinu predstavljaju sustavi, strukture i komponente (SSC – *systems, structures and components*). Održavanje u nuklearnim elektranama je proces kojim se nastoji očuvati funkcionalnost SSC-a na željenom nivou, pri čemu funkcionalnost predstavlja svojstvo opreme koje direktno utječe, kako na proizvodnost same nuklearne elektrane, tako i na sigurnost, raspoloživost i pouzdanost sustava, struktura i komponenti.

Ono što je neophodno poduzeti kako bi funkcija održavanja bila i ostala efikasna, to su jasno definirane politika i strategija održavanja, podržane organizacijom i programom koji će osigurati provedbu strategije u punoj mjeri.

U nuklearnim elektranama funkcija održavanja evoluirala je od skoro nebitne uloge 60-tih i 70-tih godina 20. stoljeća, do važne funkcije od strateškog značaja s vlastitim menadžmentom održavanja podržane timom menadžera raznih profila stručnosti.

Današnji je pristup održavanju u nuklearnim elektranama, u prvom redu, baziran na preventivnom održavanju, i to prvenstveno kroz praćenja stanja, razne monitoringe, nadzore, čišćenja, podmazivanja, kontrolne preglede, testiranja i podešavanja.

Menadžment održavanja donosi strategiju održavanja, čiji se ciljevi mogu podijeliti kako slijedi:[6]

1. Raspoloživost sustava, struktura i komponenti (SSC)

- osigurati da SSC koji imaju ili potpomažu sigurnosnu funkciju postignu željenu pouzdanost i raspoloživost
- osigurati da SSC koji imaju utjecaj na kontinuirani rad elektrane postignu željenu pouzdanost i raspoloživost

2. Osobna sigurnost

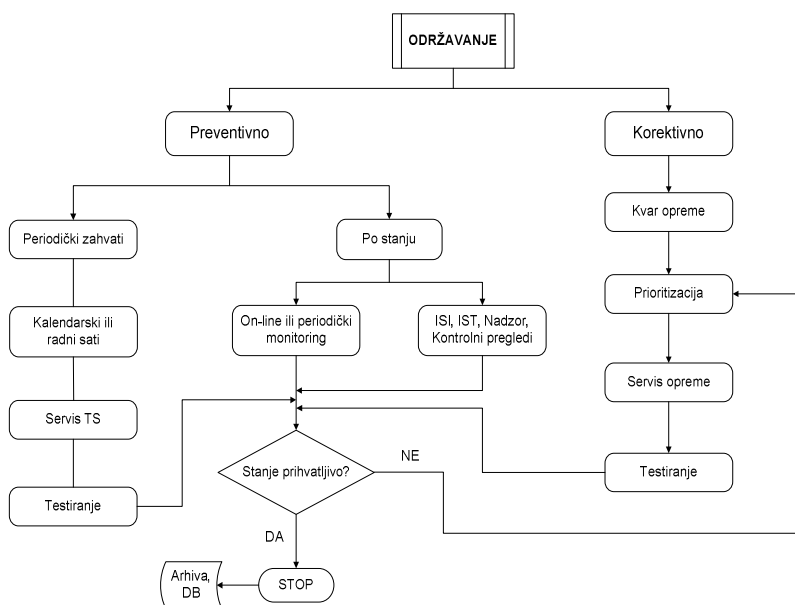
- osigurati da vrijeme izgubljeno zbog povreda na radu bude što je niže moguće
- osigurati da izloženost zračenju bude što je niže moguća te u skladu sa propisima

3. Ekonomski ciljevi

- osigurati da troškovi održavanja ne prelaze zadane okvire
- osigurati da životni vijek SSC-a bude što je moguće duži
- osigurati da indirektni troškovi zastoja budu što niži.

Navedeni se ciljevi mogu postići prihvaćanjem strategije održavanja koja se temelji na sljedeća dva pravila:

- za kritičnu opremu te opremu koja ima određeni ekonomski značaj, provoditi preventivno održavanje
- za ostalu opremu prihvatljiv je rad do otkaza (korektivno održavanje).



Slika 2.5 Strategija održavanja NE

Strategija održavanja koja je danas na snazi i prihvaćena od menadžmenta nuklearnih elektrana, što ne znači da je u potpunosti implementirana u svim NE, prikazana je dijagramom toka na slici 2.5. [6]

Dakle, govoreći o održavanju, bitno je spomenuti tri osnovna faktora: sigurnost, pouzdanost i isplativost. To će zahtijevati od menadžmenta da kontinuirano smanjuje izdatke za održavanje opreme, istovremeno radeći u skladu sa sve rigoroznijim zahtjevima sigurnosti.

Organizacijski gledano, u većini nuklearnih elektrana po nekoliko je odjela ili službi uključeno u provođenje strategije održavanja. Odjel proizvodnje, na primjer, odgovoran je za provođenje testiranja opreme na licu mjesta (IST – *In Service Testing*), te za inspekcije (ISI – *In Service Inspection*) i nadzor. Odjel Instrumentacije i kontrole, osim za brigu o elektroničkoj opremi, zadužen je i za nadzor opreme, a u Krškom i za razvoj i implementaciju AOV programa, te za dijagnostička testiranja tih ventila. Odjel održavanja, koji uključuje elektro-strojarsko održavanje, provodi sve poslove održavanja na električnoj i mehaničkoj opremi.

Strategija održavanja i prateći programi pokazali su se, općenito uzevši, uspješnima, s obzirom na, više-manje, besprijekoran rad tehničkih sustava u NE, mada i ovdje postoji ogroman prostor za poboljšanje i razvoj, što se u zapadnom svijetu u velikoj mjeri i radi, prvenstveno eksperimentirajući sa RCM-om (održavanje temeljeno na pouzdanosti opreme).

2.4 Remont postrojenja nuklearne elektrane

Remont postrojenja nuklearne elektrane (engl. *outage*) po svojoj važnosti spada u sam vrh poslovnih aktivnosti, što ne mora čuditi, s obzirom da trajanje i kvaliteta remonta direktno utječu na raspoloživost i troškove. Ono što je do sada utvrđeno u svezi remonta, to je da kvalitetno planiran i pripremljen remont osigurava da su sve aktivnosti provedene u skladu sa zahtijevanim standardima kvalitete, da su izvršeni radovi primjereno verificirani i dokumentirani te da su poslovi organizirani tako da budu provedeni u što kraćem vremenu i uz što manje troškove.

Svaka nuklearna elektrana razvija vlastitu strategiju planiranja remonta i to kratkoročnu i dugoročnu. Naponi se ulažu s ciljem optimiziranja trajanja remonta, izbjegavanja bilo kakvog duljeg trajanja remonta od predviđenog, osiguranja sigurnosti i pouzdanosti glede rada postrojenja te minimiziranja vremena izloženosti osoblja radioaktivnom zračenju.

2.4.1 Strategija remonta nuklearnih postrojenja

Ključna su područja strategije remonta postrojenja sljedeća:[7]

1. Nuklearna sigurnost podržana dobrom sigurnosnom kulturom
2. Politika kontinuiranog poboljšanja
- 3. Optimizacija održavanja i program kontrole**
4. Kontrola modifikacije i konfiguracije postrojenja
5. Praćenje planiranja, pripreme i izvođenja remonta
6. Kadrovska politika
7. Povratne informacije o operativnom iskustvu
8. Troškovi.

Ono što je posebno zanimljivo sa stanovišta održavanja, to je upravo 3. područje, Optimizacija održavanja i program kontrole, mada ono nije i jedino koje uključuje angažman menadžmenta održavanja. Što se pod tim podrazumijeva? Strategija održavanja i kontrole mora uključivati suvremeni koncept kontinuiranog praćenja stanja opreme, te optimizaciju trajanja remonta i programa zamjene komponenti i opreme tijekom remonta.

Održavanje i program kontrole opreme mora biti optimiziran na osnovu iskustva, održavanja po stanju te RCM-a. Osim toga, neophodan je i efikasan kompjuterski sustav kao ključno sredstvo efikasnog vođenja remonta.

2.4.2 Planiranje, priprema i optimizacija remonta

S obzirom na značaj samog remonta za funkcioniranje nuklearne elektrane, nije neobično što planiranje i optimizacija remonta predstavljaju kontinuirani proces. Osnovni parametri koje je potrebno optimizirati jesu vrijeme trajanja i kvaliteta radova. I ovdje menadžment održavanja igra značajnu ulogu kvalitetnom pripremom prije, te izvođenjem radova za vrijeme remonta.

Da bi se to postiglo neophodna je maksimalna i kontinuirana komunikacija zaposlenih, poznavanje stanja kritične opreme kontinuiranim praćenjem i testiranjem u periodu između remonta od strane službe održavanja, temeljito planiranje i raspored aktivnosti koje će se

provoditi u remontu, uvježbanost izvođača radova, kako unutarnjih tako i vanjskih, kvalitetna koordinacija poslova od strane odgovornog menadžera zaduženog za vođenje remonta, te ono što zapravo predstavlja sam temelj uspjeha, a to je kultura ponašanja i posvećenost postavljenim ciljevima.

Jedan od osnovnih ciljeva optimizacije je smanjenje vremena trajanja remonta sa 4 tjedna na 3, ali uz istu ili veću kvalitetu izvršenih radova, što bi zahtijevalo besprijekorno planiranje i raspored aktivnosti te, isto tako, njihovo usklađivanje. U tu se svrhu rade detaljni Gantogrami, a u elektranama sa naprednijim metodama planiranja i PERT i CPM metode.

Kao posljedica kvalitetnog provođenja remonta, pri čemu bi se provjerila sva kritična oprema te poduzeli svi potrebni koraci za povećanjem njezine pouzdanosti na dulji rok, došlo bi također do ostvarenja još jednog cilja zacrtanog od strane menadžmenta nuklearnih elektrana, a to je dulji period rada između dva remonta, tzv. Gorivni ciklus, koji bi se povećao sa 18 na 24 mjeseca (to je prvenstveno kod nuklearnih elektrana s tlačnim reaktorom kakav je u NE Krško). Dakle, ono što se želi postići optimizacijom je kontinuirani rad u periodu od 24 mjeseca, te zatim remont u trajanju od maksimalno 3 tjedna.

Još je jedna važna stvar što se tiče remonta, a to je evaluacija koja se radi nakon završetka remonta, i koja služi da se procjeni uspješnost provedenih poslova, razina koja je dostignuta u odnosu na planirano te da se izvuku pouke u slučaju eventualnih negativnosti, kako se ne bi ponovile u budućnosti.

Dakle, remont u nuklearnim elektranama ne predstavlja samo aktivnosti unutar 4 tjedna njegova trajanja, već dugotrajnu i temeljitu pripremu te detaljne analize i evaluacije nakon remonta.

2.5 Nuklearne elektrane i ekologija

Bez sumnje, svaki elektroenergetski izvor, kao uostalom i svaka druga ljudska tvorevina, nepovoljno utječe na okoliš, a njegov opseg i način djelovanja bitno ovisi o vrsti energetske izvora. Utjecaj energetske objekata na okoliš ogleda se u utjecaju na zdravlje stanovništva u okolici objekta, te na okolnu floru i faunu.

Proizvodnja je električne energije prijeko potrebna za održanje života stanovništva na zemlji na današnjem civilizacijskom nivou. Pomanjkanje električne energije dovodi do znatno veće opasnosti za život i zdravlje ljudi od emisija raznih čestica koje nastaju radom elektrana.

Upravo je to razlog zbog kojeg aktivnosti s ciljem zaštite okoliša ne mogu dovesti do obustave daljnje gradnje novih ili zatvaranja postojećih elektroenergetskih objekata, što je regulirano i zakonima o zaštiti okoliša.

2.5.1 Općenito o ekologiji

Pojam ekologija je uveo Charles Darwin 1856. u svojoj knjizi "Porijeklo vrsta" i ima korijen u grčkoj riječi „*oikos*“ (kuća, dom, okućnica), što je potpuno isti korijen kao i kod riječi ekonomija, što bi impliciralo proučavanje ekonomije u prirodi. [10]

Kako ekološki problemi postaju sve više javno popraćeni, ekologija je postala prilično uopćena usprkos njezinom izvornom znanstvenom karakteru. Objekt ekologije je proučavanje povezanosti između biljaka i životinja, s njihovom fizičkom i biološkom okolinom, a ekologija se kao zasebna znanost razvila kao grana biologije.

Pojam fizička okolina obuhvaća svjetlost i toplinu, atmosferu, vodu, vjetar, kisik, ugljikov dioksid i sastojke tla, dok biološka okolina obuhvaća životinje i biljke. Dakle, cilj ekologije nije samo proučavanje raznih živih organizama, već i okoline u kojoj ti organizmi žive, odnosno svih faktora koji mogu utjecati ili koji utječu na žive organizme u njihovoj prirodnoj okolini, iz čega se jasno vidi da je riječ o kompleksnoj i veoma obuhvatnoj disciplini. Budući da je ekologija izuzetno kompleksna disciplina, potrebne su joj druge discipline poput hidrologije, klimatologije, oceanografije, kemije, geologije i mnogih drugih da bi se mogla u potpunosti shvatiti i proučavati.[10]

2.5.2 Energija i ekologija

Proizvodnja, transport i korištenje energije u velikoj mjeri utječu na okoliš i ekosisteme. Pri proizvodnji energije utjecaj na okoliš je gotovo uvijek negativan, od direktnih ekoloških katastrofa poput izlivanja nafte, kiselih kiša i radioaktivnog zračenja do indirektnih posljedica poput globalnog zatopljenja.

Budući da će energetske potrebe čovječanstva nastaviti rasti u idućih nekoliko desetljeća, nužno su neophodne mjere kojima bi se utjecaj eksploatacije energije na okoliš smanjio na najmanju moguću mjeru. Najopasniji izvori energije trenutno su fosilna goriva, tj. ugljen, nafta i prirodni plin, a potencijalnu opasnost predstavlja i iskorišteno radioaktivno gorivo iz

nuklearnih elektrana (visoko radioaktivni otpad). Fosilna goriva su opasna zbog toga jer sagorijevanjem ispuštaju velike količine ugljikovog dioksida, a radioaktivni otpad je opasan jer utječe na strukturu organizama na vrlo bazičnom nivou.

Ogroman postotak svjetske energije još uvijek se dobiva iz ekološki neprihvatljivih izvora energije, pogotovo fosilnih goriva koja su još uvijek dominantan izvor energije. Kako je osnova fosilnih goriva ugljik, normalnim sagorijevanjem tog goriva nastaje ugljikov dioksid (CO_2) koji je staklenički plin. Taj ugljikov dioksid većinom završava u atmosferi i svojim stakleničkim učinkom uzrokuje globalno zatopljenje.

Još je opasniji plin koji se oslobađa prilikom nepotpunog sagorijevanja goriva (sagorijevanja bez dovoljne količine kisika), a to je ugljični monoksid (CO). Ugljični monoksid je izuzetno otrovan plin bez boje, okusa ili mirisa, a koncentracija od samo 0,6% izaziva kod ljudi smrt nakon 15 minuta disanja. Trenutno niti jedno fosilno gorivo nije sasvim pročišćeno, pa se prilikom sagorijevanja otpuštaju još neki štetni plinovi poput sumpornog dioksida ili dušikovih oksida. Ti plinovi kasnije reagiraju s vodenom parom u oblacima i formiraju kapljice koje padaju na zemlju kao slabe sumporne i dušične kiseline - kisele kiše, a te kiše djeluju izrazito štetno na čitave ekosisteme. Kod sagorijevanja nekih izvora energije nastaju i sitne čestice minerala koje kasnije tvore pepeo, a jedan dio tih čestica diže se u atmosferu nošen vrtlogom dima i te čestice su također vrlo opasne za zdravlje. [3]

Postotak uporabe obnovljivih izvora energije još je uvijek zanemariv tako da ekološki problemi, kao posljedica pretjerane uporabe fosilnih goriva, zaslužuju posebnu pažnju ne samo sa energetske već i sa ekološkog gledišta.

2.5.3 Utjecaj nuklearnih elektrana na okoliš

Studija rađena u Švicarskoj krajem 80-ih godina prošlog stoljeća (A. F. Fritzsche, 1989.), dala je znatan doprinos kvantificiranju rizika za stanje okoliša, ljudi, flore i faune, zbog rada elektroenergetskih objekata (u ovom slučaju radilo se o usporedbi klasičnih elektrana i nuklearnih elektrana). U ovoj se studiji prvi put sistematiziralo raspoložive podatke o rizicima pogona i gradnje elektrana, uzevši u obzir i akcidente na svim postrojenjima. Studija je pokazala da nuklearne elektrane imaju neusporedivo povoljniji utjecaj na okoliš od klasičnih elektrana, koje su izuzetno veliki zagađivači.

Studije koje su provedene kasnije i koje su bile još detaljnije i konzervativnije, dokazale su ispravnost Fritzsche-ove studije.[2]

Poznato je i višestruko dokazano da nuklearne elektrane ne ispuštaju štetne plinove u atmosferu (SO_2 , NO_2 , CO_2), te tako niti ne doprinose zagađenju, stakleničkim plinovima, kiselim kišama niti oštećenju ozonskog omotača, a ukupno godišnje zračenje jedne nuklearne elektrane iznosi tek 0,1% od ukupnog normalnog zračenja iz prirode, što se osigurava suvremenim napravama za pročišćavanje te stalan monitoring okoliša elektrane.

3 Suvremeni trendovi razvoja održavanja tehničkih sustava

3.1 Klasifikacija i značajke tehničkih sustava

Kada se kreće s analizama i evaluacijama vezanim uz određivanje kritičnosti opreme nuklearnih elektrana, mora se znati na koji se način oprema razvrstava na klase prema značaju koji ima za nesmetan, siguran i pouzdan rad NE. Klasifikacija se, dakle, ne vrši proizvoljno, već na osnovu strogih kriterija i to prvenstveno s obzirom na sigurnosni značaj i funkciju koju pojedina oprema vrši unutar pojedinih sustava NE. Oprema se karakterizira kao kritična ako njezin kvar rezultira nekom od sljedećih posljedica:[11]

- gašenjem reaktora
- reduciranjem snage ili efikasnosti elektrane
- porastom opasnosti za zaposlene
- značajnijim štetama unutar elektrane
- zagađenjem okoliša
- izazivanjem požara.

Uz kriterije kritičnosti postoje i mnogo stroži a to su sigurnosni, kojima se određuje koja je oprema sigurnosna (*safety related*). Ti su kriteriji sljedeći:[11]

- oprema je sigurnosna (*safety related*)
- oprema nije *safety related* ali može ublažiti posljedice akcidenta ili nepoželjnih prijelaznih pojava
- može spriječiti opremu koja je *safety related* da izvrši svoju sigurnosnu funkciju
- otkaz opreme može dovesti do gašenja reaktora
- kvar opreme može dovesti do neželjenih prijelaznih pojava
- oprema koja je dio procedura koje se provode u hitnim slučajevima (EOP - *Emergency Operating Procedures*).

Pojam "*safety related*" preuzet je iz američke terminologije, te se koristi za onu opremu i postrojenja koji ispunjavaju sljedeće kriterije:

- osiguravaju integritet sustava reaktorskog hladila
- osiguravaju sigurno gašenje reaktora te održavanje sigurnih uvjeta gašenja
- sprečavaju ili ublažavaju posljedice akcidenta koji može rezultirati neželjenim utjecajem na okoliš.

3.1.1 Klasične i suvremene značajke

Kada se govori o značajkama opreme zapravo se misli o značajkama kvalitete, koja se određuje na osnovu sljedećih kriterija:[12]

- funkcionalnost
- tehnološkičnost
- eksploatabilnost.

Navedene značajke predstavljaju *klasične značajke* opreme, a karakteristika im je da su u stalnoj interakciji pri čemu određuju i osnovna pravila ponašanja opreme. Svaka od ovih značajki ima i svoju definiciju: [12]

- *Funkcionalnost* opreme predstavlja zapravo ostvarivanje zahtijevane kvalitete opreme u samoj konstrukciji, pri čemu su projektanti ti koji određuju stupanj funkcionalnosti. Često se govori o projektiranoj i ostvarenoj funkcionalnosti, pri čemu je naravno ona ostvarena uvijek nešto manja.
- *Tehnološkičnost* opreme predstavlja ostvarivanje kvalitete opreme tijekom njezine proizvodnje, a tehnološka je ona oprema koja zahtijeva kraće vrijeme izrade, jeftiniju opremu, manje materijala, jeftiniji materijal, jednostavnije operacije, itd.
- *Eksploatabilnost* opreme predstavlja ostvarivanje kvalitete opreme tijekom njene uporabe (eksploatacije).

Određivanje kvalitete opreme, osim na osnovu navedenih klasičnih kriterija, može se vršiti i na osnovi suvremenih kriterija, koje danas predstavljaju odlučujući faktor pri izboru odgovarajućih tehničkih sustava.

Suvremene su značajke sljedeće:

- pouzdanost
- raspoloživost
- pogodnost za održavanje
- efektivnost
- funkcionalna podobnost, i druge.

Hrvatska norma HRN EN 13306 nudi definicije pojedinih suvremenih značajki tehničkih sustava.

Pouzdanost predstavlja sposobnost elementa da zahtijevanu funkciju izvodi u zadanim uvjetima unutar zadanog vremenskog intervala.

Raspoloživost predstavlja sposobnost elementa da bude u stanju obavljati traženu funkciju pod danim uvjetima u danom vremenu ili tijekom danog vremenskog intervala, pod pretpostavkom da su osigurani potrebni vanjski izvori.

Pogodnost za održavanje predstavlja sposobnost nekog elementa da se pod danim uvjetima uporabe održi, ili vrati, u stanje u kojem može obavljati zahtijevanu funkciju; obavljanje održavanja pod danim uvjetima korištenjem navedenih postupaka i sredstava.

Efektivnost opreme je izvedena veličina iz drugih značajki koja označava vjerojatnost uspješnog stupanja u rad opreme te obavljanje tog rada u određenom vremenu i uvjetima. Efektivnost se izračunava putem formule:[12]

$$E = A \times R \times F_p$$

Pri tome je (A) raspoloživost, (R) pouzdanost a (F_p) funkcionalna podobnost opreme.

3.1.2 Značajka tehničkih sustava u NE

Osim već navedenih značajki opreme, klasičnih i suvremenih, koje su svojstvene svim tipovima opreme bez obzira u koju svrhu se koristile, jedna od najvažnijih značajki opreme u nuklearnoj industriji je da bude kvalificirana, tj. sposobna, da izdrži i najteže uvjete okruženja u kojem se nalazi, npr. nakon akcidenta u NE, te nastavi obavljati svoju sigurnosnu funkciju. Takova oprema dobiva oznaku **EQ** (*Environmental Qualification*).

Nuklearna je industrija na vrijeme uočila potrebu za takovom opremom koja će biti u stanju podnijeti otežane vanjske uvjete, dakle ambijentalne, i to u slučaju akcidenta unutar nuklearne elektrane, te nastaviti izvršavati sigurnosnu funkciju određeni period vremena. Još je 1968. godine izdan prvi standard za EQ opremu. Od tada se svakih par godina izdaju revidirani i poboljšani standardi sa sve strožim zahtjevima. Godine 1983. izdan je od strane NRC-a dokument nazvan "*Environmental Qualification of Electric Equipment Important to Safety for Nuclear Power Plants*" pod oznakom 10CFR50.49, kojim se traži od svih NE usklađivanje sa standardima za EQ opremu.[7]

EQ je kontinuirani proces kojim se postavljaju strogi zahtjevi već od same nabave nove opreme, njenog instaliranja u pogon, testiranja te održavanja, s ciljem osiguravanja pogodnosti opreme za rad u otežanim uvjetima tijekom cijelog radnog vijeka opreme.

3.2 Strategije održavanja

Nekoliko je ključnih problema koji utječu na troškove održavanja imovine, koji se mogu sažeti u nekoliko osnovnih pitanja na koje nije tako lako odgovoriti:[13]

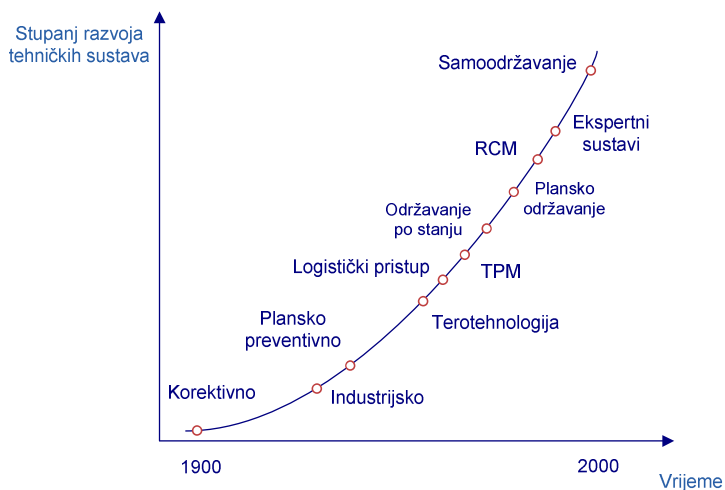
- 1.) Kako privući i zadržati sposobne ljude da održavaju sisteme sofisticirane opreme?
- 2.) Koji je optimalni nivo zaliha materijala održavanja i doknadnih dijelova?
- 3.) Da li je potrebna pomoć specijalista održavanja?
- 4.) Kakva je organizacijska struktura potrebna?
- 5.) Da li uzimati vanjske izvođače i u kojoj mjeri?

Dakako, ta pitanja nisu nova, ali ih današnja globalna konkurentnost čini važnijim no ikad. Mnogo je poduzeća koje rade na podizanju vlastite konkurentnosti, koristeći se nekim od inovativnih pristupa u menadžmentu održavanja.

Svaki od navedenih koncepata i pristupa (slika 3.1) [14] može znatno pridonijeti učinkovitosti i pouzdanosti imovine poduzeća, ali svaki za sebe, izoliran, nije rješenje za povećanje proizvodnosti. Ovisno o osnovnim procesima koji se odvijaju u organizacijama, donosi se odluka o pristupu održavanju TS-a, pri čemu se kombiniraju dva ili više pristupa istovremeno.

Ti su pristupi sljedeći:

- Korektivno
- Plansko preventivno
- Logistika
- Prediktivno održavanje (po stanju)
- RCM (Održavanje Usmjereno na Pouzdanost)
- TPM (Cjelovito Proizvodno Održavanje)
- Ugovorno održavanje (*Outsourcing*)
- Terotehnologija
- Ekspertni sustavi.



Slika 3.1 Trend razvoja održavanja tehničkih sustava

3.2.1 Kreiranje strategije održavanja

Izbor odgovarajućeg pristupa, strategije, politike ili filozofije održavanja, zavisiće od sljedećih faktora:

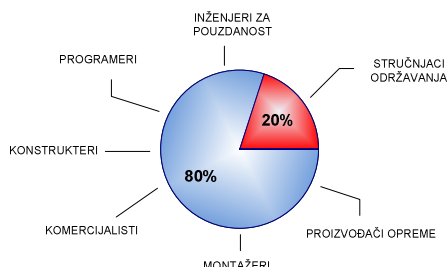
- vrste procesa koji se odvijaju u poduzeću
- posljedicama otkaza tehničkih sustava (sigurnost, troškovi)
- ekonomskom aspektu eksploatacije i održavanja
- postojećim propisima (sigurnost, ekologija, zakonska regulativa, ugovori, procedure...)

Tipična poslovna strategija ima sljedeće elemente:[13]

- 1.) Opis trenutnih proizvoda i servisa, te ključnih kupaca i njihovog stupnja zadovoljstva
- 2.) Analiza financijskih rezultata
- 3.) Pregled konkretnog okruženja i uvjeta tržišta
- 4.) Prednosti, mane i ključne dimenzije poslovne konkurentnosti
- 5.) Opis poslovne vizije u određenom periodu (npr. 5 godina)
- 6.) Izjava o misiji, principima i osnovnim ciljevima koji se žele postići, te o poslovnom planu kojim bi se ciljevi ostvarili.

Jednom kad kompanija definira i ustroji svoju poslovnu strategiju, isti se pristup može primijeniti i na održavanje, gdje bi prvi korak predstavljao povratak osnovama održavanja.

Zamislimo koja je zapravo svrha održavanja. Jednostavno rečeno, održavanje se brine da imovina bude sposobna izvršavati predviđene aktivnosti prema zadanim standardima.



Slika 3.2 Utjecajni faktori na troškove održavanja

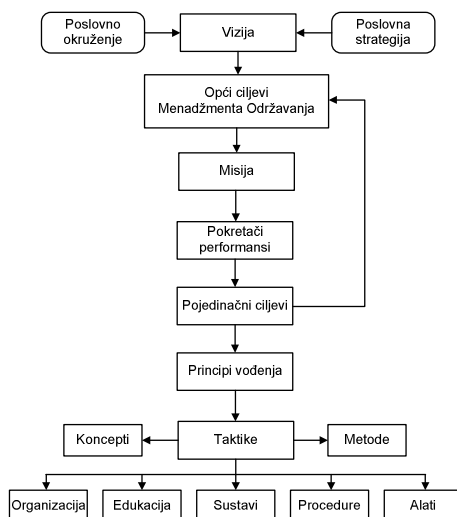
Održavanje predstavlja samo dio, od ukupno devet, koji sačinjavaju životni ciklus imovine, tj. procesa upravljanja imovinom (slika 3.2). [12]

Upravljanje imovinom počinje pitanjima, poput: „Zašto je dotična imovina potrebna te kako se uklapa u poslovni plan?“ Nakon toga se određuje svrha, funkcije i standardi performansi imovine. Nakon usporedbe troškova i dobitka, utvrđuje se opravdanost investicija kompanije, te se nakon odobrenja utvrđuje i kompletiraju dizajn i specifikacije opreme, koji se zatim konstruira, ili nabavlja, te instalira. Jednom kad se odobri uporaba nakon testiranja, oprema se pušta u rad i održava, te, po potrebi, modificira (modernizira). Nakon završetka perioda ekonomske korisnosti, oprema (imovina) se otpisuje. U idealnom slučaju, održavanje, operacije, inženjering, materijali, računovodstvo, te ostali relevantni odjeli, sudjelovati će pri svakom koraku životnog vijeka opreme.

3.2.2 Strateški okvir održavanja

Kreiranje strategije održavanja moglo bi slijediti model prikazan na slici 3.3. [13] Ono što je najvažnije u svakom poslovnom planu jesu potrebe i želje korisnika proizvoda ili usluga,

dioničara kompanije i vlasnika. No, ona osnova od koje sve kreće i iz koje sve proizlazi je vizija. Jer, kako kaže stara japanska poslovica: „Vizija bez djelovanja – san. Djelovanje bez vizije – noćna mora.“

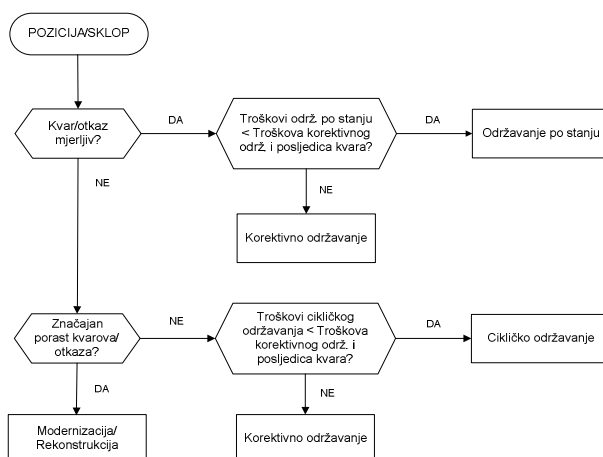


Slika 3.3 Model strategije održavanja

Model, prikazan na slici 3.3, pokazuje koji sve faktori utječu na kreiranje strategije održavanja u svakoj organizaciji. Izbor same strategije održavanja ovisi i o tome u kojoj je fazi životnog vijeka tehnički sustav. U početnoj fazi životnog vijeka treba prepoznati i rješavati tzv. dječje bolesti, uz istovremeno provođenje programa preventivnog održavanja.

Idealnom strategijom, ukoliko bi se takva uopće i mogla postići, moglo bi se proglasiti onu kojom se uspjelo postići planiranu raspoloživost tehničkog sustava, uz minimalne (optimalne) troškove, što je proizašlo iz optimalnog omjera preventivnog i korektivnog održavanja te provedbe modifikacija.

Nasuprot uvriježenom mišljenju, uloga održavanja nije samo popravljavanje kvarova u rekordnom vremenu, već i sprečavanje nastanka svih gubitaka koji mogu biti uzrokovani problemima vezanim za opremu i sustave. Pojednostavnjeni proces donošenja odluke o izboru odgovarajuće strategije održavanja prikazan je na slici 3.4. [12]



Slika 3.4 Proces donošenja odluke o vrsti održavanja

Misija menadžmenta održavanja, u vrhunskim organizacijama, predstavlja postizanje i održavanje sljedećeg:

- optimalne raspoloživosti
- optimalnih radnih uvjeta
- maksimalnog korištenja resursa održavanja
- optimalnog radnog vijeka opreme
- minimalnih zaliha doknadnih dijelova
- sposobnosti brzog djelovanja.

3.3 Projektiranje procesa održavanja

Efikasno projektiran proces održavanja može se podijeliti na šest ključnih koraka:[15]

1. Identifikacija
2. Planiranje
3. Raspoređivanje
4. Dodjeljivanje
5. Izvršenje
6. Analiza

Identifikacija - Potreba za održavanjem može proizaći iz nečega vrlo jednostavnog, poput vibracija i buke koje stvaraju ležajevi pri radu. Izuzetno je korisno u ovom koraku vršiti redovna čišćenja, podmazivanja, prilagođavanja te vizualne preglede, s ciljem pronalaženja ranih znakova nepravilnog rada opreme, te identificiranje problema već u samom početku.

Planiranje - Planiranje osigurava da se uzmu u obzir sva sredstva nužna za izvršavanje određenog posla. Raspoređivanje se brine o tom KADA će to biti urađeno.

Zadaci planiranja jesu što treba biti učinjeno, kojim redoslijedom, s kojim vještinama. Planer mora biti netko s tehničkim vještinama, te iskustvom rada na određenom postrojenju kako bi imao kredibilitet kod izvršioca poslova.

Raspoređivanje - Raspoređivanje je zapravo pitanje raspoloživosti. Kada koordinirati ljude određenih vještina? Postoje li određeni dijelovi? Postoji li suglasnost ostalih odjela?

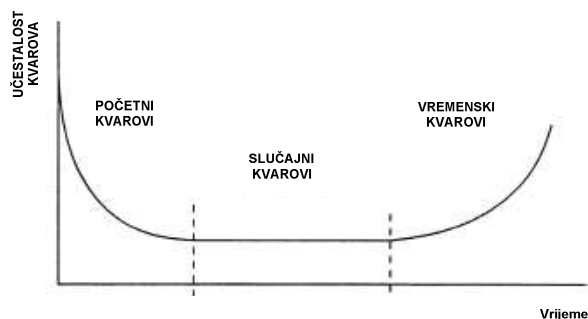
Prije svega, neophodno je vidjeti tko je u danom trenutku na raspolaganju, s obzirom da su neki bolesni, na odmoru ili stručnom osposobljavanju.

Dodjeljivanje - Dodjeljivanje poslova ovisi o organizaciji unutar odjela održavanja. Uvijek je korisno ako tim ili radnik imaju planirano nekoliko dana posla unaprijed. To omogućava fleksibilnost, neplanirane poslove, intervencije te izmjenu članova tima.

Izvršenje - Dobro istrenirani, motivirani tim drži sam proces održavanja aktivnim. Oni stvaraju pravu vrijednost – kvalitetu, troškove, vrijeme i uslugu. Ako je tim održavatelja motiviran od strane menadžmenta, kompanija će imati veliku korist od isplativog menadžmenta održavanja.

Analiza - Detaljna analiza nastalog problema te brzi odgovor održavatelja, bitno će umanjiti šanse ponavljanje istih pogrešaka, što je i jedan od osnovnih ciljeva održavanja.

S tehničkog stajališta, neophodno je shvatiti i na koji se način pojavljuju kvarovi, te da li ih je, i na koji način, moguće spriječiti. Obično se na kvarove izazvane starenjem opreme gleda preko, tzv. biološkog modela ili krivulje kade (*bathtub curve*). [12]



Slika 3.5 Krivulja kade (*Bathtub curve*)

Dijagram kade često se koristi da se prikaže učestalost kvarova tijekom radnog vijeka tehničkih sustava, a dobivaju se superpozicijom (zbrajanjem) triju krivulja: krivulje dječjih bolesti, krivulje normalnog rada sustava i krivulje istrošenosti sustava. Prema tom modelu, velike šanse za nastankom kvarova nastaju na početku radnog vijeka opreme, zatim slijedi određeni period stabilnog rada, te nakon toga period nepouzdanosti kad je oprema stara te dolazi do povećanog broja kvarova u nekom periodu. Krivulja kade pokazuje visoku vjerojatnost kvarova na početku eksploatacije opreme, te na kraju radnog vijeka.

3.3.1 Planiranje održavanja

Planiranje održavanja predstavlja osnovnu strategiju poboljšanja učinkovitosti i efikasnosti održavanja, u odnosu na vrijeme kada nema odvijanja aktivnosti održavanja. Implementacija kvalitetnog programa planiranja i raspoređivanja aktivnosti održavanja, može smanjiti vrijeme produktivnog održavanja čak do 60%, u odnosu na vrijeme utrošeno na održavanje bez planiranja. Jedna od karakteristika planiranja je da ono predstavlja i sredstvo za koordiniranje mnogih specijaliziranih područja održavanja, što kao rezultat ima opće poboljšanje efikasnosti održavanja. Također, funkcija planiranja može pomoći u identificiranju onih područja koja su slabija, pa zahtijevaju povećanu pažnju i poboljšanje. [15]

Menadžment održavanja koristi planiranje kao sredstvo za reduciranje nepotrebnih kašnjenja poslova, i to kroz detaljnu prethodnu pripremu. Da bi mogao unaprijed planirati i pripremiti posao, planer mora razviti radni plan nakon primitka zahtjeva za izvršenjem posla.

Radni plan nije ništa drugo do skup svih potrebnih informacija koje planer priprema za tehničare koji će kasnije pristupiti izvršenju zadanog posla.

Ispravnim planiranjem i pripremom za svaki pojedini posao, stvara se podloga za povećanje produktivnosti samog održavanja. Vizija planiranja, jednostavno, predstavlja povećanje radne produktivnosti, dok misija predstavlja pripremu poslova s ciljem ostvarenja vizije.

Planiranje i raspoređivanje aktivnosti održavanja pokazuje kako se može drastično poboljšati učinkovitost održavanja. Obično se uzima da je velika stvar kada se na svaki sat planiranja sačuva 3 sata rada. Međutim, ispravno planiranje održavanja može sačuvati i puno više radnih sati. Nakon sustava radnih naloga, planiranje predstavlja najveće moguće poboljšanje unutar programa održavanja. Planiranjem se smatra priprema posla po pojedinom radnom nalogu, prije nego li se dodjeli osobi zaduženoj za njegovo izvršenje. [15]

Tako isplanirani posao, ispravno urađen, uvelike utječe na povećanje učinkovitosti samog održavanja. Prvi korak na kojem se već može utjecati na učinkovitost održavanja, uključuje aktivno sudjelovanje osoblja održavanja već pri nabavi nove opreme.

Drugi korak, nakon što je oprema nabavljena i instalirana te puštena u pogon, predstavlja proaktivno djelovanje. Što to konkretno znači? **Proaktivno održavanje znači djelovati prije nego li dođe do potrebe za popravkom opreme**, tj. do kvara. Ono djeluje kroz **preventivno, prediktivno i korektivno** održavanje, te kroz projektne zadatke. To ne znači da se pristupa zahvatima na samoj opremi čak i kad ona radi.

Proaktivno održavanje prepoznaje i upućuje na određene situacije kako bi ih se spriječilo da dovedu do kvara. Osim toga, proaktivno održavanje također dovodi i do poboljšanja.

Gledano u svjetlu gore navedenog, održavanje, zapravo, ima proizvodnu funkciju, i to da proizvodi radnu sposobnost opreme kako bi bila raspoloživa što dulji period, a ne samo da pruža uslugu popravka. To bi, drugim riječima, značilo da aktivnosti održavanja predstavljaju proizvodni proces.

Učinkovitim se održavanjem reduciraju ukupni troškovi tvrtke, i to na taj način da se radni kapaciteti učine dostupnima upravo onda kada su najpotrebniji.

Planiranje predstavlja samo jedan od neophodnih alata efikasnog održavanja. Ostali alati uključuju sljedeće aktivnosti: [15]

- upravljanje sustavom radnih naloga
- podatke o opremi
- menadžment, komunikacije i timski rad
- kvalificirano osoblje
- alatnicu i skladište
- unapređenje procesa
- mjerenja u održavanju.

3.3.2 Sustav radnih naloga

Sustav radnih naloga predstavlja najutjecajnije sredstvo kojeg održavanje može imati. Ono predstavlja instrument kontrole poslova održavanja, ili, jednostavno rečeno, predstavlja metodu kojom se traži pokretanje i evidentiranje svih aktivnosti unutar kompanije. Osoba koja želi da se izvrši određena aktivnost održavanja, ispunjava specifičan obrazac, koji se zatim upućuje odjelu održavanja s ciljem pokretanja željenih aktivnosti. Taj se obrazac naziva Radni nalog, a sam proces njegovog nastajanja i finaliziranja, Sustav radnih naloga.

Kako se sustav radnih naloga razvija i unapređuje, takav dokument može postojati samo na računalu, te radni nalog ostaje kao identifikacija izvršenog posla.

Standardizirani sustav radnih naloga kreira i čuva kompletnu dokumentaciju svih radova održavanja, kako bi bila omogućena kontrola upravljanja istima. Radni nalog također pomaže dobivanju željenih informacija pripremajući unaprijed pitanja za osobu koja posao zahtjeva. Tako se u radnom nalogu mogu naći informacije poput identifikacije opreme, lokacije opreme, stupanj prioriteta posla, potrebne kvalifikacije izvršioca, potrebni doknadni dijelovi, isl.

Osim što služi kao pomoć pri identificiranju, praćenju i upravljanju izvršenjem aktivnosti održavanja, sustav radnih naloga pomaže i pri vođenju statistike zahvata i stanja pojedine opreme (povijest opreme), praćenje troškova održavanja (ukupno i pojedine opreme), te analizi, planiranju i raspoređivanju aktivnosti održavanja.

Neke od bitnih postavki neophodnih za kvalitetan sustav radnih naloga, su sljedeće: [15]

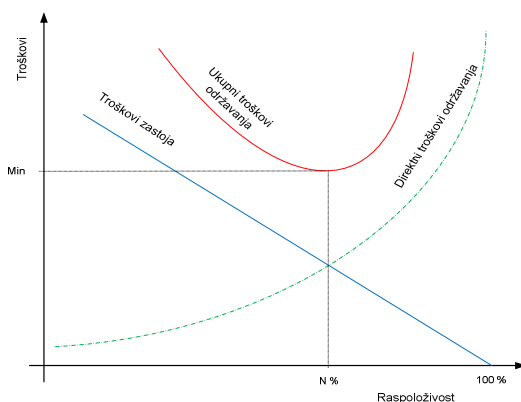
- bez radnog naloga ne može se pristupiti poslu
- radni nalog se ograničava na pojedini komad opreme kad god je to moguće

- izvođače radova poticati da koriste sva znanja i vještine pri izvođenju radova održavanja
- postavljanje oznaka s nedostacima na opremu kojoj je potreban servis.

3.3.3 Troškovi održavanja

Aktivnosti održavanja obuhvaćaju održavanje radne sposobnosti opreme, povećanje njene brzine, pouzdanosti i preciznosti. Ukoliko se to pokušava pomoću reaktivnog održavanja, dakle, nakon pojave kvara tj. otkaza opreme, tada će vrijeme u otkazu te troškovi popravka biti vrlo visoki.

Kada se počne s primjenom preventivnog održavanja, makar samo podmazivanje te zamjene istrošenih komponenti, neočekivani kvarovi su izbjegnuti a također i uzroci zastoja proizvodnje. To je izuzetno bitno kada se zahtijeva maksimalna raspoloživost tehničkih sustava (TS) uz prihvatljive, optimalne troškove održavanja, kako je prikazano na dijagramu na slici 3.6 [12]. Isto tako, moguće je, na isti način, prikazati ovisnost troškova i o drugim značajkama opreme, poput pouzdanosti.



Slika 3.6 Odnos troškova održavanja i raspoloživosti TS-a

Preventivni pristup znači stajanje opreme radi inspekcije, prilagodbi, remonta, zamjena i testiranja, što može značiti troškove u novcu i izgubljenim vremenom. Međutim, hitni popravci će, u tom slučaju, biti u velikoj mjeri smanjeni.

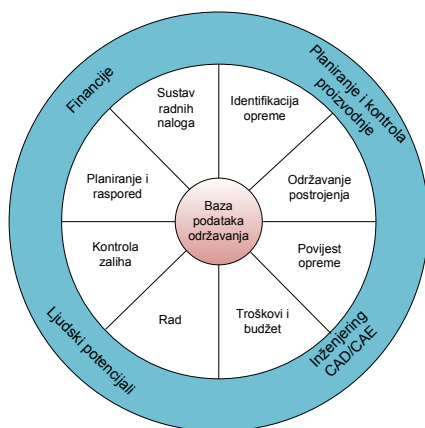
Da bi se bilo spremno na sve, neophodno je iskustvo, prikladni podaci, analiza, kombinacija inženjerstva i timskog rada. Jedino u tom slučaju moguće je postići i minimalne, ili bolje rečeno, optimalne troškove održavanja.

3.4 Računalom podržano upravljanje održavanjem (CMMS)

Broj i kompleksnost sustava opreme o kojima brigu vodi jedan inženjer održavanja je jako veliki. Kada se uzmu u obzir dijelovi, vještine specijalista, te napor potreban za prevenciju te popravak kvarova, nevjerovatno je kako postrojenje uredno radi.

Kako bi postrojenje i nastavilo da radi bez poteškoća, neophodan je sistematski pristup informacijskom menadžmentu. Količina informacija o održavanju izuzetno je velika, te je stoga kompjuterizirani informacijski sustav neophodan i nezamjenjiv.

Tipični je CMMS (*Computer Maintenance Management System*) obično podijeljen na module (slika 3.7), [13] od kojih svaki predstavlja određenu funkciju poduzeća. Svi podaci o aktivnostima prethodno provedenima na opremi, planiranju resursa, rasporedu i planiranju poslova preventivnog i korektivnog održavanja, te garanciji i sukladnosti, moraju biti dokumentirani i kontrolirani. Cijeli program se temelji na zaokruženom ciklusu, koji počinje sa zahtjevom, a završava s analizom nabave i kontrole zaliha. Obuhvaćen je cjelokupan plan održavanja, od identificiranja potreba do analize finaliziranih poslova.



Slika 3.7 Moduli informatičkog sustava

Implementacijom ovog programskog rješenja olakšan je pristup cjelokupnoj dokumentaciji o opremi, doknadnim dijelovima te ostalim materijalnim i ljudskim potencijalima.

Ujedno, omogućeno je bolje iskorištenje resursa u proizvodnji i održavanju, te lakše planiranje aktivnosti radnika u održavanju. Informacije pohranjene u bazi podataka informacijskog sustava namijenjene su za pomoć osoblju održavanja kako bi svoj posao obavljali što brže i efikasnije.

CMMS je, uz svu svoju efikasnost i neophodnost, danas izuzetno skup. Cijena će ovisiti o tome što se njime želi postići te na kojoj hardverskoj platformi će se pokretati. Troškovi implementacije znatno će narasti uzme li se u obzir prilagodba samog sustava potrebama kompanije, povezivanja sa drugim sustavima, tečajevi, konzultantske usluge, te dodatna oprema, npr. printeri. Ti troškovi se moraju opravdati kroz buduće poboljšanje produktivnosti i efikasnosti održavanja. Što bi CMMS trebao učiniti da unaprijedi održavanje? Kvarovi i njihovo trajanje, uvelike ovise o programu održavanja, koji treba biti ispravno razvijen, raspoređen i izvršen. Minimiziranje vremena stajanja opreme radi inspekcije, popravaka i remonta zahtjeva raspored i koordinaciju rada i doknadnih dijelova. Učinkovit menadžment podataka ima utjecaj na veličine outputa.

Mnoge su kompanije došle do zaključka da korištenje informatičkog menadžmenta daje značajne rezultate: [13]

- Povećanje efikasnosti opreme (do 85%)
- Povećanje pouzdanosti (oko 20%)

Učinkovitije korištenje radne snage, materijala te vanjskih izvođača, često znači smanjenje za 5 – 15% od ukupnih troškova održavanja. CMMS djeluje kao okvir unutar kojeg se upravlja održavanjem. Stvarne prednosti sustava, pokazala su brojna istraživanja, postignute su na način da se povećala produktivnost i smanjili direktni troškovi održavanja. [13]

3.5 Monitoring tehničkih sustava

Što se podrazumijeva pod monitoringom i što se, zapravo, time želi postići? Monitoring predstavlja nadzor nad vitalnim karakteristikama promatranih tehničkih sustava bitnim za njihov siguran i pouzdan rad, i to raznim tehnikama i metodama poput praćenja i kontrole vibracija ili dijagnostičkog testiranja.

Monitoringom tehničkih sustava dugoročno se osigurava njihova maksimalna pouzdanost. Monitoring može biti periodički i kontinuirani (*on-line*), dakle praćenje stanja tehničkih sustava tijekom eksploatacije.

Periodički se monitoring provodi povremeno, u skladu s propisanim frekvencijama nadzora stanja, preventivnih pregleda i dijagnosticiranja stanja. Kontinuirani monitoring, ili praćenje stanja u realnom vremenu (*on-line*), predstavlja proces stalnog nadzora rada tehničkih sustava s ciljem osiguravanja njihovog ispravnog rada te otkrivanja uzroka potencijalnih kvarova koji najavljuju mogući otkaz. Ovaj vid monitoringa pogodan je za onu opremu kod koje nije moguće predvidjeti trend trošenja samo uz pomoć periodičkih pregleda, te tamo gdje kritičnost otkaza zahtijeva stalnu kontrolu procesa i sustava. Ovaj tip monitoringa zahtijevat će direktan i stalan pristup mjernim točkama, odnosno stalno ili često mjerenje, te unos i obradu tih podataka određenim programskim paketom, dakle neophodno je korištenje CMMS-a.

Razlozi uvođenja on-line monitoringa mogu biti sljedeći: [16]

- tehnički sustavi su ekstremno kritični
- pristup sustavima je težak ili opasan
- nedostatak ljudi za provođenje inspekcija
- karakteristike otkaza ne mogu se identificirati rutinskim pregledima
- vrijeme nastanka otkaza je kraće od perioda inspekcije
- karakteristike otkaza nisu predvidive.

Postrojenja poput nuklearnih elektrana danas si ne mogu dozvoliti da ne provode kontinuirani monitoring barem neke od kritične opreme (turbina, generator, reaktorske pumpe), s obzirom na neophodnost stalnog praćenja kritičnih parametara, te na osnovu njihova kretanja predviđanje ponašanja tehničkih sustava, te pravovremeno poduzimanje potrebnih akcija u cilju njihova dovođenja ili održavanja u zahtijevanim granicama. No, isto tako, kad god je moguće trebalo bi provoditi i periodički monitoring ostale kritične opreme, te one koja nije kritična ali može imati znatan utjecaj na nju u slučaju pojave kvara.

Monitoring tehničkih sustava, bio on kontinuirani ili periodički, iziskuje znatna financijska sredstva te stručno osoblje. Međutim, kada se uzmu u obzir nesagledive posljedice na ljude i okoliš radi većih i katastrofalnih kvarova u NE koji bi mogli uslijediti radi nedovoljne pažnje

i neadekvatnog održavanja i praćenja stanja tehničkih sustava, tada je svaka cijena premala i niti jedna metoda monitoringa nije dovoljno kvalitetna.

No ovdje treba spomenuti i konceptualni okvir koji je, zapravo, iznjedrio aktivnost zvanu monitoring, a to je prediktivno održavanje.

Poput preventivnog, i prediktivno održavanje ima više definicija, međutim, osnovna premisa prediktivnog održavanja je da redovno praćenje (monitoring) stanja tehničkih sustava, radne efikasnosti te drugih indikatora stanja, pruža sve potrebne informacije kako bi se osigurao maksimalni interval između popravaka te minimizirali troškovi neplaniranih zastoja.

To je u osnovi točno, mada prediktivno je održavanje puno više od toga. Ono predstavlja filozofiju ili stav, koji uzima u obzir aktualno radno stanje sustava kako bi optimizirali performanse postrojenja i elektrane u cjelini.

Sveobuhvatan program prediktivnog održavanja koristi se sofisticiranim metodama, poput praćenja i analize vibracija, termografije, tribologije, ultrazvučnih ispitivanja, praćenja parametra procesa i sustava, vizualne kontrole i dr., u svrhu procjene stanja kritičnih sustava, te se na osnovu tako dobivenih informacija planiraju aktivnosti održavanja ovisno o trenutnom stanju pojedinog tehničkog sustava. Prediktivno održavanje koristi direktno praćenje stanja (monitoring), efikasnosti, te drugih bitnih indikatora i parametara, bilo periodički ili kontinuirano, kako bi odredili stvarno vrijeme do otkaza (MTTF - *mean time to failure*) ili gubitak efikasnosti.

Uključivanje programa prediktivnog održavanja u sveobuhvatni program upravljanja održavanjem, znatno doprinosi optimizaciji raspoloživosti i pouzdanosti tehničkih sustava, reduciranju troškova, povećanju kvalitete krajnjeg proizvoda i proizvodnosti, te u konačnici i ukupne profitabilnosti organizacije.

3.6 Indikatori performansi održavanja

Mnoge kompanije još i danas gledaju u održavanju samo nepotreban izvor troškova, nužno zlo, pa čak i bezvrijednu funkciju. Takve će kompanije teško, ili nikako, preživjeti u današnjim uvjetima nemilosrdne poslovne konkurencije, a njihovo će mjesto preuzeti one kompanije koje u funkciji menadžmenta održavanja prepoznaju oružje konkurentnosti, sredstvo za smanjenje troškova proizvodnje, a time i smanjenje cijena proizvoda, rast profita te ujedno i rast vrijednosti dionica kompanije.

S obzirom da menadžment održavanja ima najveći utjecaj na stanje i radnu sposobnost opreme, kompanije se moraju usredotočiti na pronalaženje najbolje metode menadžmenta održavanja. Dosad se pokušavalo na razne načine, različitim organizacijskim strukturama, strukturama izvještavanja, vanjskim izvođačima, raznim timovima, a sve sa ciljem povećanja kontrole održavanja. Međutim, većina tvrtki nije bila sposobna upravljati i kontrolirati održavanje. Dva su osnovna faktora koja su utjecala na to:

- nedostatak ispravnog načina mjerenja performansi održavanja
- nedostatak sustava kontrole održavanja. [18]

U dobrom je dijelu svjetskih kompanija mjerenje performansi krivo shvaćeno i krivo primijenjeno. Indikatori performansi predstavljaju upravo to što im samo ime kaže – pokazatelje, indikatore performansi, tj. uspješnosti.

Oni se ne koriste kako bi se utvrdilo da pojedine osobe ne rade, niti kako rade, svoj posao. Ne koriste se niti za usporedbu s drugim kompanijama, kako bi se pokazalo kako je jedna bolja od druge, ili jednako dobra, te da stoga nema potrebe za promjenama. Ispravno dobiveni i korišteni, indikatori bi performansi trebali ukazati na mogućnosti poboljšanja unutar kompanije. Mjerenje bi se performansi trebalo koristiti kako bi se ukazalo na slaba mjesta kompanije, te da se podvrgnu daljnjim analizama s ciljem pronalaženja uzroka problema. Na kraju, ti isti indikatori mogli bi dovesti i do pronalaženja rješenja postojećih problema. [18]

3.6.1 Svrha indikatora performansi

Indikatori performansi moraju biti integrirani i međuovisni, kako bi pružili sveukupnu perspektivu općih ciljeva kompanije, poslovnih strategija te specifičnih ciljeva.

Tijekom procesa razvoja indikatora performansi, sljedeći bi koraci morali biti uzeti u obzir: [18]

1. Strateški ciljevi moraju biti maksimalno pojašnjeni
2. Ključni poslovni procesi moraju biti vezani na postavljene ciljeve
3. Fokus mora biti na kritične faktore uspjeha svakog od procesa
4. Pratiti trend performansi te ukazati na napredak i potencijalne probleme
5. Identificirati moguća rješenja problema.

Idealni sustav indikatora performansi zahtijevati će sljedeće: [18]

- Dugoročnu suradnju na definiranju i implementiranju ciljeva i mjerila. Mora biti uključena kompletna organizacija.
- Povezanost mjerila i odlučivanja o raspodjeli resursa
- Mjerila koja se lako razvijaju, razumiju i ocjenjuju.

3.6.2 Indikatori performansi preventivnog održavanja

U ovom će poglavlju biti prikazani primjeri određivanja indikatora performansi, i to za najvažniju, temeljnu djelatnost, koja predstavlja ključ uspjeha menadžmenta održavanja svake kompanije – **preventivno održavanje**.

Dok god program preventivnog održavanja nije zaživio i postao efikasan, niti jedna druga aktivnost održavanja neće moći biti efikasna. Da li je, i kako, moguće konkretno utvrditi uspješnost preventivnog održavanja? Odgovor na ovo pitanje predstavljaju indikatori performansi preventivnog održavanja.

U nastavku će biti prikazane vrste indikatora performansi i načini njihovog određivanja [18], koji će se moći primijeniti na preventivno održavanje u srhu njegovog poboljšanja, s napomenom da svaki od indikatora ima svoje prednosti i mane.

1. Zastoji opreme uzrokovani kvarovima

Prvi indikator performansi preventivnog održavanja ukazuje na utjecaj koji program preventivnog održavanja ima na cjelokupno postrojenje. Fokus mu je na onome što se samim programom želi eliminirati – kvarovi, lomovi opreme.

$$\frac{\text{Zastoji radi loma}}{\text{Ukupni zastoji}}$$

Ovaj indikator uzima u obzir ukupno vrijeme zastoja uzrokovano kvarom dijela opreme ili postrojenja, te ga gleda u kontekstu ukupnih zastoja. Ukupno vrijeme u zastoju predstavljaju zastoji radi održavanja, nabave, transporta, pa čak i one uzrokovane vanjskim dobavljačem.

Prednost mu je da identificira da li je kvar ili neplanirani zastoj stvarni problem postrojenja. Nedostatak mu je taj da ne određuje ispravnu klasifikaciju zastoja i ne traži precizne podatke.

2. Hitni poslovi izraženi u čovjek-satima

Ovaj indikator ukazuje na resurse koji se dodjeljuju na mjesta gdje se javlja kvar opreme. Koristan je za istraživanje distribucije radova održavanja, pri čemu su bitni resursi u najmanje 4 kategorije:

- preventivno održavanje
- hitni poslovi
- popravci
- rutinski zahvati.

Čovjek sati utrošeni na hitne poslove

Ukupni čovjek sati za sve poslove

Ovaj se indikator izražava u %-tcima. Njime se uzimaju u obzir svi resursi, ne samo oni za održavanje. Prednost mu je što se koristi za analizu da li je rad održavanja bio potreban za hitne poslove ili za kvarove. Ako je >20%, tada se smatra da je preventivno održavanje neefikasno.

Mana mu je ta što ovisi o preciznim podacima. Osim toga, pojmovi poput hitni poslovi, ili kvarovi, zahtijevaju konkretnija objašnjenja.

3. Troškovi popravaka kvarova

Kvarovi se ispituju na još jedan način: direktnim troškovima kvarova i hitnih popravaka, pri čemu su uključeni troškovi rada, materijala, opreme, kontraktora, te svi ostali direktni troškovi održavanja.

$$\frac{\text{Direktni trošak popravaka}}{\text{Ukupni direktni trošak održavanja}}$$

Prednost ovog indikatora je što ukazuje na utjecaj kvara ili hitnog posla, na budžet održavanja. Nedostatak je što zahtijeva točno identificiranje kvarova i hitnih popravaka.

4. Usklađenost preventivnog održavanja

Ovaj indikator uspoređuje broj zadataka preventivnog održavanja koji su dovršeni, s ukupnim brojem raspoređenih poslova.

$$\frac{\text{Dovršeni preventivni poslovi}}{\text{Raspoređeni poslovi preventivnog održavanja}}$$

Cilj je da ovaj indikator bude 100%. Prednost mu je što efikasno mjeri usklađenost organizacije s programom preventivnog održavanja. Predstavlja jedan od ključnih indikatora performansi.

Nedostatak je što daje tip rasporeda preventivnog održavanja kojim se skriva činjenica da zadaci nisu kompletni.

5. Procjena usklađenosti preventivnog održavanja

Uspoređuje procjenu troškova rada i materijala za preventivno održavanje, sa stvarnim troškovima izvođenja zadataka.

$$\frac{\text{Procijenjeni troškovi preventivnog održavanja}}{\text{Stvarni troškovi izvođenja preventivnog održavanja}}$$

Prednost mu je što efikasno prati preciznost procjene zadataka preventivnog održavanja. Nedostatak je što se pod preventivno održavanje često dodaju zadaci koji to nisu.

6. Kvarovi uzrokovani lošim održavanjem

Ovim se indikatorom istražuje osnovni uzrok kvara, te nakon toga utvrđuje da li ti uzroci trebaju biti detektirani kao dio programa preventivnog održavanja.

$$\frac{\text{Broj kvarova koji su trebali biti spriječeni}}{\text{Ukupni broj kvarova}}$$

Prednost je što precizno utvrđuje efekt koji preventivno održavanje ima na kvarove opreme. Pomaže pri utvrđivanju da li se isplati politika preventivnog održavanja. Najveći mu je nedostatak proceduralni. Mora se provoditi detaljna i precizna analiza uzroka kvarova (*root-cause analysis*).

7. Učinkovitost preventivnog održavanja

Ispituje se količina poslova proizašlih iz programa preventivnog održavanja.

$$\frac{\text{Ukupni broj radnih naloga proizašlih iz preventivnih kontrola}}{\text{Ukupni broj radnih naloga}}$$

Dobiveni %-tak ukazati će na to da li je program preventivnog održavanja učinkovit, proaktivno nalazeći probleme opreme. Prednost im je u tome što je učinkovit pri evaluaciji programa preventivnog održavanja. Nedostatak je što može dovesti u zabludu ako je posao kontrole koji zapravo spada u preventivno održavanje.

8. Vrijeme raspoloživosti opreme

Ovaj indikator ukazuje na količinu vremena koja je u skladu sa predviđenom za određenu opremu. Može pomoći pri određivanju da li organizacija ima realna očekivanja.

$$\frac{\text{Željeno vrijeme raspoloživosti} - \text{Vrijeme u otkazu}}{\text{Željeno vrijeme raspoloživosti}} \times 100\%$$

Izražava se u %-tcima, a željena je vrijednost, naravno, 100%. To znači da se vrijeme koje oprema provede u otkazu želi svesti na 0.

Prednost je što predstavlja, u stvari, dobar pokazatelj, s obzirom da je sam program preventivnog održavanja i kreiran s ciljem maksimiziranja vremena raspoloživosti opreme. Nedostatak je što zahtijeva izuzetno precizne podatke, i to ne samo vrijeme zastoja pri održavanju opreme.

9. Zakašnjeli zadaci preventivnog održavanja

Ukazuje na broj zadataka preventivnog održavanja koji nisu dovršeni prema rasporedu.

$$\frac{\text{Broj zakašnjelih poslova}}{\text{Ukupni broj poslova}}$$

Cilj je da ovaj indikator, izražen u %-tcima, bude što je moguće niži, i to po mogućnosti jednak 0. Prednost mu je što se pomoću njega može pratiti progres programa preventivnog održavanja. Nedostatak je što se moraju posjedovati precizni podaci.

10. Postotak prekovremenih sati

Iako ovaj indikator ne predstavlja uvijek direktnu mjeru efikasnosti programa, ipak može biti od pomoći. Veliki broj prekovremenih sati može ukazati na neefikasnost samog programa.

$$\frac{\text{Broj prekovremenih radnih sati}}{\text{Ukupni broj radnih sati}}$$

Prednost mu je što pomaže menadžerima u praćenju količine hitnih poslova te radova na kvarovima koji zahtijevaju prekovremene radne sate za njihovo dovršenje.

Nedostatak je što neke kompanije radije dozvoljavaju prekovremeni rad nego da zaposle veći broj ljudi. Time se onemogućuje da se utvrde prekovremeni sati koje uzrokuje nekvalitetan program preventivnog održavanja.

3.7 Kontinuirano poboljšanje

Da bi bila konkurentna, industrija se mora kontinuirano poboljšavati. Kao nikad prije, kompanije prihvaćaju nove metode povećanja učinkovitosti, poput JIT, TQM, Six Sigma, i sl.

Ti strukturirani sustavi pomažu, korak po korak, u identificiranju i implementiranju načina za poboljšanje poslovanja. Oni predstavljaju sredstva boljeg iskorištenja radne sposobnosti kako zaposlenih tako i postojeće tehnologije te tehničkih sustava.

Održavanje se, također, mijenja pod pritiskom konkurentnosti. Oni, koji ispravno koriste nove tehnike unapređenja efikasnosti, shvatili su da kvalitetnije održavanje znači i veći profit. Postoji nekoliko tehnika sa znatnim utjecajem na performanse održavanja. Dvije najznačajnije i najviše primjenjivane tehnike poboljšanja procesa održavanja jesu RCM i TPM, ali naravno nisu i jedini postojeći koji služe kao poboljšanje postojećim procesima održavanja tehničkih sustava. Pri tome, u nuklearnim je elektranama razvijeno i nekoliko metoda za poboljšavanje održavanja karakterističnih za ovu vrstu energetske postrojenja, i to:

- održavanje bazirano na pouzdanosti (RBM – *Reliability Based Maintenance*)
- održavanje bazirano na sigurnosnim analizama (PSA – *Probabilistic Safety Analysis*).

Pri tome, RBM pristup predstavlja svojevrstan hibrid između RCM i TPM metoda, a započinje sa procesom *benchmarkinga*.

PSA metoda poboljšavanja održavanja predstavlja metodologiju koja se koristi za procjenu frekvencije događaja koji će voditi do nekog neželjenog stanja NE, kao npr. taljenje jezgre.

Izuzetno korisna i poželjna metoda održavanja je i RCA (*Root Cause Analysis* – Analiza osnovnih uzroka), koja u kombinaciji s metodom FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis* – Analize vrsta kvarova i njihovih posljedica) pruža izuzetno jako sredstvo u traženju, analizi te otklanjanju kvarova kao i analizama i otklanjanju samih uzroka kvarova, čijom se eliminacijom sprečava njihovo ponovno pojavljivanje.

Od suvremenih metoda poboljšanja još vrijedi spomenuti i tzv. *Lean Maintenance*, koje je također nastalo na zasadima TPM-a i TQM-a.

Danas se kao metoda poboljšanja poslovanja i održavanja spominje i *benchmarking* koji se ne smije zanemariti, a provodi se detaljnim analizama najboljih u istoj branši te primjenom istih metoda i načina rada.

U nastavku će biti detaljnije opisane RCM i TPM metode kao dvije najpopularnije i najzastupljenije metode poboljšanja održavanja u svijetu.

3.7.1 Održavanje usmjereno na pouzdanost – RCM

RCM (*Reliability Centered Maintenance*) predstavlja jednu od najznačajnijih tehnika koje pomažu pri poboljšanju performansi održavanja. Pružajući strateški okvir, te koristeći se znanjem i ekspertizama stručnjaka u samoj organizaciji, ono može dovesti do postizanja dva izuzetno važna cilja. Prvi je identificiranje potreba održavanja fizičke imovine, u skladu s operativnim i proizvodnim ciljevima. Drugi je cilj optimizacija performansi, sa stvarnim rezultatima. RCM djeluje u smislu progresivnih, međusobno povezanih, koraka. Prvo, ispituje funkcije i pridružene proizvodne ciljeve imovine. Drugo, procjenjuje načine na koji ti ciljevi mogu biti promašeni, te posljedice pogrešaka. I na kraju, utvrđuje najprihvatljivije i najefikasnije načine eliminiranja ili ublažavanja posljedica kvarova.

RCM je nastao u SAD-u, u avio-industriji, tijekom 60-tih godina 20. stoljeća. Razvijen je kao odgovor na brzo rastuće troškove održavanja, slabe raspoloživosti, te brige oko efikasnosti tradicionalnog preventivnog održavanja po vremenu. [19]

S obzirom na očigledne probleme, neophodan je bio pouzdaniji program održavanja.

Rezultati studija [19] provedenih na postojećim tehnikama održavanja, te praksi preventivnog održavanja, dovele su do iznenađujućih činjenica o tradicionalnom pristupu preventivnom održavanju po vremenu, a one su sljedeće:

- 1.) Planirani remont ima mali utjecaj na opću pouzdanost kompleksne opreme
- 2.) Mnogo je opreme za koju nema efikasnog oblika plana i rasporeda održavanja

Rezultati istih studija korišteni su pri razvoju osnove programa preventivnog održavanja koji bi mogao biti široko primjenjiv. Taj je pristup danas poznatiji kao RCM.

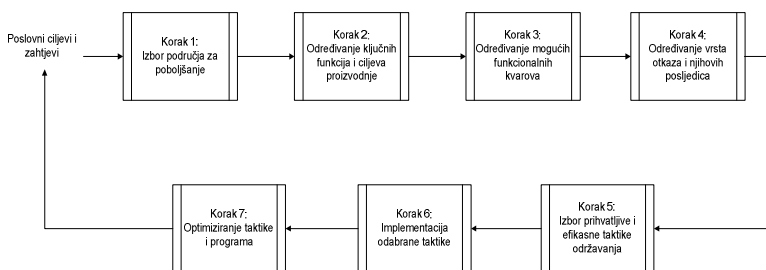
RCM je prvo uvelike primijenjen za razvoj programa održavanja **Boeinga – 747** i kasnije i za **DC – 10**, pri čemu su rezultati bili impresivni. Kod tih je aviona postignuto znatno smanjenje planiranog održavanja ili održavanja po vremenu, bez gubitka pouzdanosti. Danas se RCM koristi pri razvoju programa održavanja za sve važnije tipove aviona. Osim toga široku je primjenu našlo i u mornarici, naftnoj industriji, nuklearnoj industriji te proizvodnim procesima. RCM je posebno pogodan tamo gdje se koristi veća, kompleksna oprema, te gdje kvarovi opreme imaju znatan utjecaj na ekonomiju, sigurnost te na okolinu. [19]

3.7.1.1 Elementi RCM-a

RCM se temelji na filozofiji da održavanje predstavlja ključnu funkciju kompanije, što je od izuzetnog značaja za postizanje funkcionalnih performansi te povećanje produktivnosti. Zahtjevi koji se postavljaju na održavanje najbolje se razvijaju pomoću multidisciplinarnih timova, te se moraju temeljiti na logičnom, strukturiranom i inženjerskom pristupu. Da bi se pristupilo razvoju programa RCM-a za tehničke sustave, neophodno je odgovoriti na sljedećih 7 pitanja: [13]

- 1.) Koje su funkcije opreme i kakav je očekivani nivo izvođenja tih funkcija?
- 2.) Koji kvarovi dovode do neispunjavanja funkcija opreme?
- 3.) Koji su uzroci pojedinih kvarova?
- 4.) Koje su posljedice kvarova?
- 5.) Koja je težina posljedica?
- 6.) Što je potrebno poduzeti s ciljem sprečavanja kvarova ili njihovog predviđanja?
- 7.) Što je potrebno učiniti kada kvarove nije moguće spriječiti?

Odgovori na ta pitanja mogu se dobiti kroz logičan prikaz procesa od sedam koraka, prikazanih na sljedećoj slici. [13]



Slika 3.8 RCM proces

Proces počinje razumijevanjem poslovnih potreba i ciljeva čime se osigurava usklađenost programa održavanja sa proizvodnim ciljevima za promatrane fizičke resurse.

3.7.1.2 Implementacija RCM-a

Da bi se postigao željeni uspjeh, te efikasno upravljalo promjenama, RCM program mora biti podijeljen na faze te konstantno unapređivan. Strategija kontinuiranog poboljšanja i unapređenja je dugoročna, te uključuje ljude iz svih područja kompanije, proizvodnja, materijalno poslovanje, održavanje, te ostale tehničke funkcije. Program uključuje i korištenje tima, koji bi djelovao povremeno, pod vodstvom osobe, kojoj bi to bila stalna funkcija. Na taj način se tokom nekoliko godina mogu definirati kritični resursi kompanije.

Takav pristup upotpunjuju i neke druge inicijative s ciljem unapređenja programa, kao što su JIT (Just-in-time) i TQM (Total Quality Management).

To će omogućiti: [13]

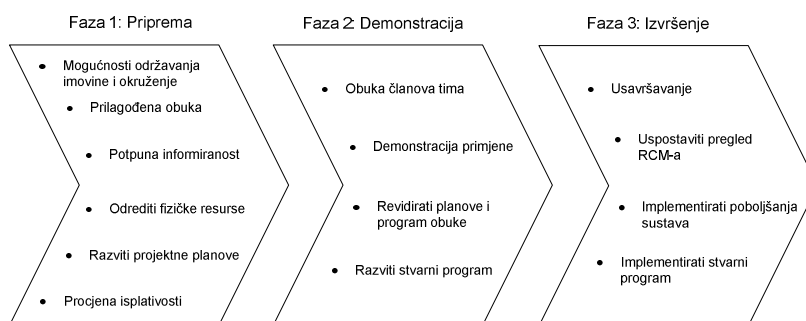
- visok stupanj potpore osoblja iz proizvodnje, materijalnog poslovanja, održavanja, te ostalih tehničkih odjela, čime će se osigurati prihvaćanje promjena
- postojanje više timova za kontrolu bitnih područja postrojenja, što olakšava da stručni ljudi provode kontrolu (pola radnog vremena)
- fleksibilnost i isplativost, minimiziranjem potrebe korištenja zaposlenih puno radno vrijeme.

Osnovni faktori uspjeha programa RCM-a su sljedeći: [13]

- Jasni ciljevi projekta
- Podrška menadžmenta
- Razumijevanje filozofije RCM-a od strane svih uključenih u implementaciju programa
- Demonstracija uspješnosti RCM-a radi jače potpore
- Jasno dokumentirani rezultati radi olakšanja prihvatanja prijedloga
- Integracija sa održavanjem prema stanju.

Temeljni kamen strategije RCM-a, a možemo reći i njegove uspješnosti, zapravo, predstavlja tim za nadzor sastavljen od zaposlenika kompanije, različitih struka i specijalnosti.

Faze implementacije RCM-a prikazane su na idućoj slici, 3.9. [13]



Slika 3.9 Faze implementacije RCM-a

Današnje izazovno okruženje u kojem djeluje održavanje, zahtjeva kontinuirano poboljšavanje i unapređivanje, a upravo je RCM ona strategija koja pruža strateški okvir koji bi to omogućio.

3.7.2 Cjelovito Produktivno Održavanje – TPM

Bez obzira na to što određeni fizički resurs, odnosno tehnički sustav, može činiti, bit će onoliko efikasan koliko i osoba koja njime rukuje. TPM predstavlja takav pristup upravljanju imovine koji naglasak stavlja na značaj rukovatelja opremom, te njegov utjecaj na pouzdano stanje opreme. TPM stvara okruženje koje potiče takav angažman zaposlenih.

Danas su, više nego ikad, osobe koje rukuju opremom, odgovorne za kvalitetu outputa kojeg proizvodi sama oprema. Mnogo je faktora koji na to utječu, uključujući način organizacije radnog mjesta, kao i efikasnost opreme.

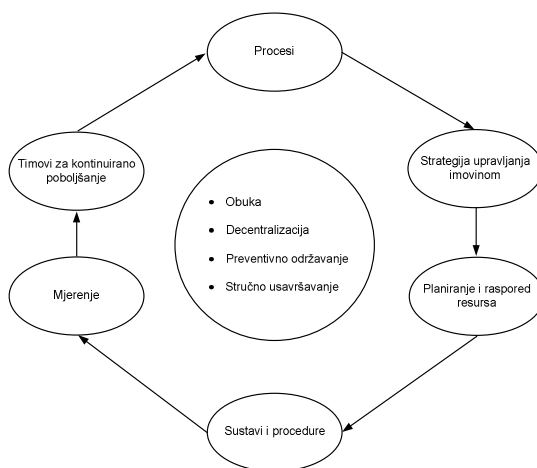
TPM nastoji pomoći osobama i timovima kako bi postigli osnovni cilj – proizvesti kvalitetan proizvod u zahtijevanoj količini i na vrijeme.

U okviru samog TPM-a, kontrola kvalitete proizvoda pomaknuta je s kraja na sam početak proizvodnog procesa. Kako bi se izbjegle pogreške i gubici već na samom izvoru, kao rezultat, problemi performansi strojeva, identificirani su i riješeni mnogo ranije.

3.7.2.1 Ciljevi TPM-a

Primarni ciljevi TPM-a jesu: [13]

- maksimizirati efikasnost i produktivnost opreme te eliminirati sve gubitke
- pokušati stvoriti osjećaj vlasništva nad opremom kod samih radnika, kroz program tečajeva i uključivanja u odlučivanje
- promovirati kontinuirano poboljšanje kroz male grupe aktivnosti, uključujući održavanje, proizvodnju te inženjering



Slika 3.10 Elementi TPM-a

Svako poduzeće ima vlastitu viziju i definiciju TPM-a, ali u većini slučajeva postoje neki zajednički elementi, koji bi se mogli sumirati u 6 osnovnih, kako se vidi iz slike 3.10. [13]

3.7.2.2 Ključni faktori uspjeha

Faktor koji pri implementaciji TPM-a igra najvažniju ulogu je istinska posvećenost menadžmenta uspješnosti kompanije, te u vezi s time i uspješnosti implementacije samog TPM-a.

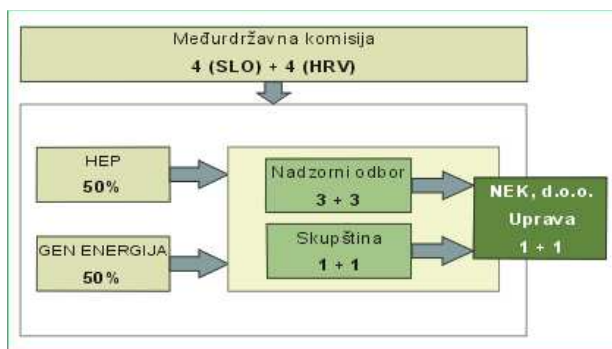
Ostali bitni faktori jesu: [13]

- timski pristup tijekom cijelog procesa razvoja i implementacije
- entuzijazam i vještine *“team building-a”* koje posjeduje voditelj projekta
- jasno definirana metodologija
- komunikacija između održavanja i operative pogotovo po pitanjima *“kako”* oprema radi, te *“kako”* ju održati radno efikasnom
- mehanizam koji će ojačati pozitivno mišljenje i rezultate.

4 Strategija poslovanja i održavanja Nuklearne Elektrane Krško

Nuklearna je elektrana Krško, u skladu s Ugovorom između Vlade Republike Slovenije i Vlade Republike Hrvatske o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa povezanih s ulaganjem u Nuklearnu elektranu Krško, njezinim iskorištavanjem i razgradnjom te Društvenim ugovorom, koji su stupili na snagu 11. ožujka 2003. godine, organizirana kao društvo s ograničenom odgovornošću (d.o.o.).

Temeljni kapital NEK-a, d. o. o., podijeljen je na dva jednaka poslovna udjela u vlasništvu članova društva GEN energija, d. o. o., Ljubljana i Hrvatske elektroprivrede, d. d., Zagreb. NEK proizvodi i isporučuje električnu energiju isključivo u korist partnera koji imaju pravo i obavezu preuzimanja 50 posto ukupne raspoložive snage i električne energije na pragu NEK-a.



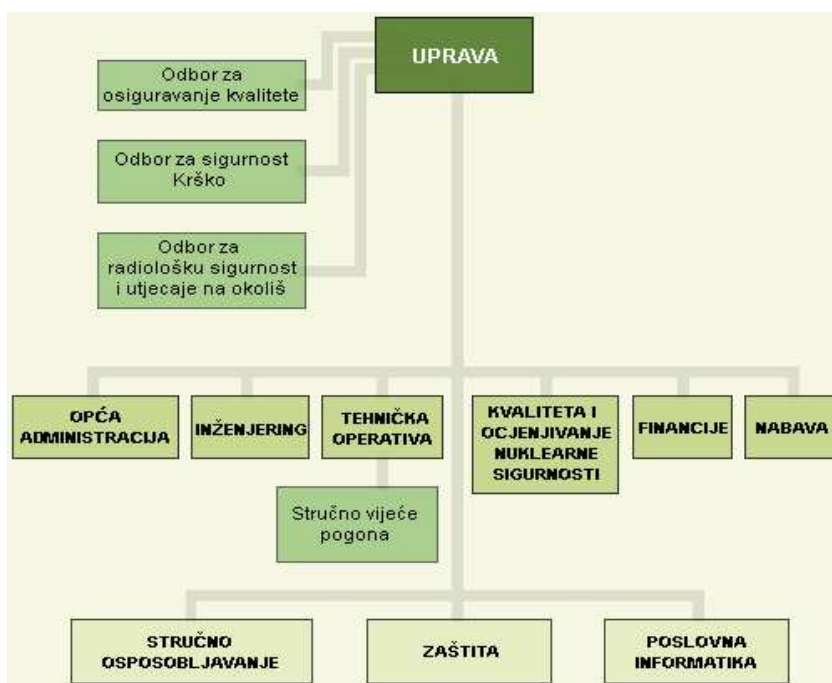
Slika 4.1 Sustav upravljanja NEK-om [20]

Uprava vodi poslovanje društva i utvrđuje poslovnu politiku za osiguravanje pouzdanog i sigurnog rada, konkurentnosti proizvodnje te društvene prihvatljivosti. Sastavljena je paritetno s obzirom na jednake vlasničke udjele obaju članova društva. Odluke organa upravljanja u načelu donose se suglasno. Uprava je dvočlana – predsjednik je slovenski član društva, a član uprave hrvatski član društva.

4.1 Organizacijska struktura NEK-a

Organizacijska struktura NEK-a (slika 4.2) [20] prati suvremene standarde organiziranosti poduzeća koja upravljaju nuklearnim objektima. Posebno su istaknute funkcije važne za nuklearnu sigurnost te sustav neovisnoga vrednovanja područja ključnih za sigurnost rada.

Nakon sklapanja ugovora između Vlade Republike Slovenije i Vlade Republike Hrvatske o uređenju statusnih i drugih pravnih odnosa povezanih s ulaganjem u Nuklearnu elektranu Krško, njezinim iskorištavanjem i razgradnjom u NEK-u, pri zapošljavanju se poštuje načelo pariteta za članove uprave i druge djelatnike s posebnim ovlaštenjima.



Slika 4.2 Organizacijska struktura NEK-a

U okviru dugogodišnjih partnerskih odnosa NEK se brine i za osposobljavanje osoblja vanjskih izvođača. U sklopu priprema za remont održavaju se tečajevi, kao što su opće osposobljavanje i osposobljavanje voditelja radova te osposobljavanje iz radiološke zaštite.

Stručno osposobljavanje organiziraju ljudi iz odjela za Stručno osposobljavanje.

Na temelju vizije i poslanja, u NEK-u su postavljeni sljedeći strateški ciljevi: [20]

- **postizanje sigurnoga i stabilnoga poslovanja** na razini gornje četvrtine nuklearnih elektrana koje posluju u svijetu u skladu s WANO-vim (*World Association of Nuclears Operators*) pokazateljima poslovne učinkovitosti,
- **postizanje konkurentnosti** proizvedene električne energije na otvorenome tržištu, s prosječnom godišnjom proizvodnjom od 5100 GWh, 18-mjesečnim gorivnim ciklusom, remontima kraćima od 28 dana te troškovnom učinkovitošću,
- **postizanje društvene prihvatljivosti** nuklearne tehnologije, koja se temelji na sigurnom, za okoliš čistome i odgovornome poslovanju te na visokoj motiviranosti i pripadnosti svih zaposlenih.

4.2 Proizvodnja električne energije

NEK je opremljen Westinghouse-ovim lakovodnim tlačnim reaktorom toplinske snage od 2 GW. Njezina je snaga na pragu 696 MW, s iskoristivošću od oko 30%. Elektrana je priključena na 400-kilovoltnu mrežu za napajanje potrošačkih središta u Sloveniji i Hrvatskoj. NEK godišnje proizvede više od pet milijardi kWh električne energije, što predstavlja 40% ukupno proizvedene električne energije u Sloveniji [20]. Nuklearna elektrana Krško (NEK) počela je s komercijalnim radom u siječnju 1983. godine. Snaga elektrane originalno je bila 632 MWe, a nakon zamjene parogeneratorskog i osuvremenjivanja elektrane 2000. godine iznosi 696 MWe na pragu elektrane. NEK radi u 18-mjesečnom radnom ciklusu, tj. vremenski period između dva remonta je 18 mjeseci. Tijekom remonta, osim pregleda opreme, zamjene neispravnih i istrošenih dijelova, te kontrolnih testiranja, obavlja se i djelomična zamjena goriva u reaktoru (oko 50 %) – istrošeno gorivo se vadi iz reaktora i smješta u bazen za istrošeno gorivo, a nadomješta se svježim gorivom. Nuklearni reaktor, osim reaktorske posude, čine primarni elementi: jezgra reaktora, voda koja je moderator i rashladno sredstvo te regulacijske šipke.

U nuklearnom reaktoru održava se i regulira nuklearna lančana reakcija, a time i oslobađanje topline. Energija, koja se oslobađa pri cijepanju jezgri u gorivnim elementima, zagrijava primarno hladilo - običnu pročišćenu vodu.

Ona kruži u zatvorenome primarnome krugu koji, osim reaktora, čine parogeneratori, reaktorske crpke, tlačnik i cjevovodi. Budući da je voda u primarnome krugu pod tlakom (65 bara), ne pretvara se u paru unatoč visokoj temperaturi (300°C). Primarno hladilo preko stijenki cijevi parogeneratora prenosi toplinu sekundarnoj vodi i pretvara je u paru. Para za pogon turbine nastaje u parogeneratoru – izmjenjivaču topline između primarnoga i sekundarnoga kruga.

Rad reaktora najjednostavnije se regulira utjecanjem na apsorpciju neutrona, odnosno na njihov broj u jezgri i time na rad, odnosno snagu reaktora. To se može postići promjenom koncentracije bora u primarnome hladilu ili regulacijskim šipkama, koje se spuštaju u jezgru reaktora ili se podižu iz nje. Naime, bor i kontrolne šipke, koje sadrže srebro, indij i kadmij, jaki su apsorberi termičkih neutrona. [20]

4.2.1 Tehnološki i sigurnosni sustavi NEK-a

Tehnološki dio nuklearne elektrane podijeljen je u tri osnovna termodinamička sustava (slika 2.2): [20]

- primarni
- sekundarni
- tercijski.

Budući da u sva tri sustava, međusobno odvojena, kruži voda, mogu se zbog lakšeg razumijevanja nazvati i krugovi. Prva su dva kruga zatvorena, a treći je, budući da za kondenzaciju pare koristimo savsku vodu, povezan s okolišem.

Primarni krug čine: reaktor, parogeneratori, reaktorske crpke, tlačnik i cjevovodi.

Toplina koja se oslobađa u jezgri reaktora zagrijava vodu koja kruži u primarnome krugu. Toplina vode se preko stijenki cijevi u parogeneratorima prenosi na vodu sekundarnoga kruga. Reaktorske crpke omogućuju kruženje vode u primarnome krugu. Tlačnik održava tlak u primarnom krugu i sprečava isparavanje vode u jezgri reaktora.

Sve komponente primarnog kruga smještene su u zaštitnoj zgradi koja ima zadaću da u slučaju nezgode izolira primarni sustav od okoliša.

Sekundarni krug čine: parogeneratori, turbine, generator, kondenzator, napojne crpke i cjevovodi. Parogeneratori su, zapravo, parni kotlovi u kojima od vode sekundarnoga kruga nastaje para koja se vodi u turbinu. U turbini se energija pare pretvara u mehaničku energiju.

Tu energiju generator pretvara u električnu energiju i preko transformatora je šalje na elektroenergetsku mrežu. Iskorištena para iz turbine odvodi se u kondenzator i tamo se u dodiru s hladnim cijevima kondenzatora pretvara u vodu. Crpke za napajanje potiskuju vodu iz kondenzatora natrag u parogenerator i tamo ponovno nastaje para.

Tercijarni krug čine: kondenzator, rashladne crpke rashladni tornjevi i cjevovodi. Tercijarni krug namijenjen je odvođenju topline koja se ne može korisno upotrijebiti za proizvodnju električne energije i potreban je za hlađenje kondenzatora. Rashladne crpke potiskuju savsku vodu u kondenzator te je vraćaju u Savu. Pri prolasku kroz kondenzator savska se voda zagrijava jer prima toplinu iskorištene pare. Budući da zagrijavanje savske vode može utjecati na biološke značajke rijeke Save, upravna ograničenja određuju prirast temperature i udio oduzetoga toka. Maksimalna dozvoljena razlika temperatura rijeke Save prije i nakon NEK-a, ne smije iznositi više od 3°C, dok ukupna temperatura Save ne smije prijeći 28°C. U slučaju nepovoljnih vremenskih uvjeta (ljeti, niži vodostaj Save) koriste se rashladni tornjevi, dok u iznimno nepovoljnim vremenskim uvjetima (velike vrućine, nizak vodostaj Save) treba smanjiti snagu elektrane.

Sigurnosni sustavi nuklearnih elektrana osiguravaju integritet vitalne opreme, omogućuju siguran rad zaposlenih i sprečavaju negativne utjecaje na okoliš, dok istovremeno onemogućuju nekontrolirano oslobađanje radioaktivnih tvari u okoliš. Nuklearnoj sigurnosti već je u fazi planiranja reaktora i projektiranja NEK-a posvećena velika pozornost. ***Nuklearna sigurnost** je skup propisa i standarda, projektnih rješenja, radnih uputa, sigurnosne kulture zaposlenih, osposobljavanja, rada upravnih organa i drugih čimbenika, koji zajedno pridonose sprečavanju oslobađanja radioaktivnih tvari iz nuklearnog objekta u okoliš.* [20]

Nuklearna je elektrana u sigurnome stanju ako su u svakom trenutku ispunjena **tri osnovna sigurnosna uvjeta**: [20]

- učinkovit nadzor nad snagom reaktora
- hlađenje nuklearnoga goriva u reaktoru
- zadržavanje radioaktivnih tvari (onemogućeno oslobađanje radioaktivnih tvari u okoliš).

Oslobađanje radioaktivnih tvari u okoliš sprečavaju **četiri uzastopne sigurnosne pregrade**:

- **samo nuklearno gorivo** (tablete nuklearnoga goriva), koje zadržavaju radioaktivne tvari u sebi,
- **košuljica koja okružuje gorivne tablete** i sprečava istjecanje radioaktivnih plinova iz goriva,
- **granica primarnoga sustava** (stjenke cijevi, reaktorske posude i drugih primarnih komponenti), koja zadržava radioaktivnu vodu za hlađenje reaktora,
- **zaštitna zgrada** koja hermetički odvaja primarni sustav od okoliša.

Osnovni je cilj prvih triju pregrada da onemoguće prelazak radioaktivnih tvari do sljedeće pregrade, a četvrta pregrada sprečava neposredno oslobađanje radioaktivnih tvari u okoliš nuklearne elektrane. Princip obrane NEK-a po dubini može se vidjeti na slici 2.4.

Budući da je rad sigurnosnih sustava u slučaju pogreške i otkazivanja, pa čak i malo vjerojatne nezgode u nuklearnoj elektrani, iznimno važan, svi su sigurnosni sustavi udvostručeni (nuklearna elektrana ima dvije linije sigurnosnih sustava).

Za ispunjavanje sigurnosnih uvjeta i očuvanje sigurnosnih pregrada inače je dovoljno djelovanje samo jedne linije sigurnosnih sustava. Osim toga, svi se sigurnosni sustavi, odnosno njihovi pojedini uređaji, tijekom rada elektrane i za vrijeme redovitoga remonta sustavno testiraju. Sigurnost nuklearnih objekata nije važna samo na državnoj, nego i na međunarodnoj razini; zato je Međunarodna agencija za atomsku energiju (MAAE) osnovala posebnu skupinu stručnjaka, nazvanu INSAG (*International Safety Advisory Group*). Ta je skupina već 1988. godine izradila dokument pod nazivom Osnovna sigurnosna načela za nuklearne elektrane (*Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants*), u kojem su sažeta uz međunarodnu suglasnost dogovorena načela. [20]

Tri temeljna cilja zaštite - nuklearnu zaštitu, zaštitu od zračenja i tehničku zaštitu, možemo postići jedino ostvarenjem četiriju zajedničkih načela: [15]

- temeljnih načela upravljanja
- načela dubinske zaštite
- općih tehničkih načela
- specifičnih tehničkih načela.

U najvažnije međunarodne organizacije čija djelatnost obuhvaća područje nuklearne tehnologije i nuklearne zaštite spadaju:

- **Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA - *International Atomic Energy Agency*)**, neovisna međuvladina organizacija koja djeluje pod okriljem Organizacije ujedinjenih naroda,
- **Europska komisija, Direktorat za energiju i transport,**
- **WANO (*World Association of Nuclear Operators*)**, Svjetska udruga operatera nuklearnih elektrana u koji je NEK učlanjen od 1989. godine,
- **INPO (*Institute of Nuclear Power Operations*)**, američki Institut za praćenje rada nuklearnih elektrana, u koji je NEK učlanjen od 1988. godine,
- **EPRI (*Electric Power Research Institute*)**, neprofitna organizacija koja se brine za znanstvena i tehnološka rješenja svih segmenata globalne energetske industrije.

U Nuklearnoj Elektrani Krško zaštiti okoliša posvećuje se iznimno velika pozornost i briga. Odgovarajući odnos prema okolišu nastoji se doseći ovladavanjem svim utjecajima djelatnosti na okoliš, što znači da je skrb za okoliš uključena u sve procese.

U 2008. godini u NEK je uveden sustav postupanja s okolišem sukladno standardu ISO 14001:2004., a također su dobili i certifikat ISO 14001:2004, koji potvrđuje sukladnost sustava postupanja s okolišem s navedenim standardom. [20]

4.2.2 Zaštita od radioaktivnog zračenja

Zaštita od radioaktivnog zračenja bavi se načinima i postupcima zaštite ljudi od zračenja ili izbjegavanja zračenja. Zadaća je zaštite od zračenja i nadzor izloženosti radnika zračenju, sprečavanje širenja izvora zračenja i mjerenja u radnoj okolini, mjerenja koncentracije radioaktivnosti u ispuštima u zrak i vodu (mjerenja efluenta) te mjerenja u okolici elektrane.

Jedinica za mjerenje količine zračenja označava se sa Sv ($1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$), a nazvana je po švedskom fizičaru Rolfu Sievertu. Ozračenost radnika koji su u radu izloženi izvorima zračenja, ograničena je propisima na godišnju dozu od **20 mSv**. To ograničenje vrijedi također za zdravstvene radnike i za izvođače industrijske radiografije.

Ograničenje od 20 mSv godišnje postavljeno je na temelju vjerojatnosti pojava štetnih učinaka na zdravlje ljudi. U normalnim okolnostima, rizici iznad te doze nisu više prihvatljivi. U NEK-u se nastoji da broj radnika s dozom iznad **10 mSv** bude što manji. Optimiranjem ozračenosti pokušava se postići da izloženost bude najniža moguća. Tome su prilagođeni planiranje i vođenje poslova, nadzor radnika i evidentiranje njihove izloženosti. Prosječna je godišnja doza radnika u NEK-u oko 1 mSv, a najviše su doze kod pojedinaca oko 10 mSv. Doza je prirodnoga zračenja kojoj su izloženi svi ljudi oko 2,4 mSv godišnje. Iz mjerenja koncentracije radioaktivnosti u ispuštima u zrak i vodu te mjerenja u okolišu, proizlazi da je utjecaj NE Krško na stanovništvo tako nizak da se zapravo ne može ni izmjeriti, dok se jedino preko modela može izračunati za najizloženiju skupinu stanovnika. Izračun pokazuje da je godišnja doza manja od 0,1% doze koju prosječno primi čovjek zbog prirodnih izvora zračenja. Mjerenja u okolini NEK-a izvode neovisne tehničke institucije. [20]

Prosječna ukupna godišnja doza za stanovnika u Hrvatskoj iznosi 2-2,5 mSv, a **doprinos zbog rada Nuklearne Elektrane Krško iznosi samo 0,001-0,01 mSv**, dakle praktički zanemarivo.

4.3 Strategija održavanja NEK-a

Nadzorom i održavanjem opreme osiguravaju se i povećavaju nuklearna sigurnost, stabilnost rada elektrane i njezina visoka raspoloživost.

Stvarno stanje opreme utvrđuje se dosljednim i cjelovitim nadzorom. S obzirom na utvrđeno stanje opreme i postrojenja, izvode se preventivni programi održavanja koji osiguravaju funkcionalnost opreme za vrijeme rada. Na temelju radnih iskustava osuvremenjuje se oprema, što donosi potpunija rješenja i napredak u sigurnosti i stabilnosti rada.

Osnovna uloga održavanja tehničkih sustava NEK-a je da, s izvođenjem programa preventivnih aktivnosti, praćenjem i nadzorom nad opremom i sustavima te uspješno zaključenim korektivnim aktivnostima, omogući siguran, stabilan i pouzdan rad elektrane u svim režimima rada, i to sa sljedećim ciljevima: [20]

- osigurati nuklearnu sigurnost, sigurnost radnika i opreme
- minimizirati broj neplaniranih zaustavljanja elektrane zbog kvarova na opremi
- izvođenje optimalnog programa preventivnog održavanja i nadzornih testiranja te njihovo stalno poboljšavanje i unapređivanje

- maksimizirati raspoloživost komponenti, opreme i sustava
- minimizirati utjecaj ljudskog faktora
- minimizirati udio korektivnog održavanja
- optimizirati udio i trajanje redovnih godišnjih remonta
- minimizirati izloženost osoblja radioaktivnom zračenju.

Tijekom rada elektrana je u različitim pogonskim stanjima: zamjena nuklearnoga goriva, zagrijavanje i hlađenje elektrane, puštanje u pogon i zaustavljanje elektrane te mijenjanje snage. Pri prelascima iz jednog radnog stanja u drugo mijenja se status uređaja i sustava (otvaranja/zatvaranje ventila, pokretanje/zaustavljanje crpki, uključivanje/isključivanje drugih električnih uređaja...). Pogonska posada mora neprestano biti informirana o statusu uređaja i sustava, pa samo operateri mogu upravljati opremom. Osim toga, oni stalno nadziru stanje opreme, a pritom posebnu pozornost posvećuju sigurnosnim sustavima. Njihov status i spremnost za rad u svakome pogonskome stanju elektrane moraju biti u skladu sa zahtjevima Tehničkih specifikacija. Usklađenost se periodički provjerava provedbom propisanih ispitivanja. [20]

U nadzoru i rukovanju uređajima i sustavima, operateri koriste pisane procedure. Pri tome operaterima pomaže pouzdani procesni informacijski sustav koji im u svakome trenutku proslijeđuje potrebne podatke. Misija je zaposlenih na održavanju osiguravanje pogonske spremnosti uređaja i sustava na temelju cjelovitih programa održavanja. Dobra praksa održavanja od ključnoga je značaja za siguran i stabilan rad elektrane.

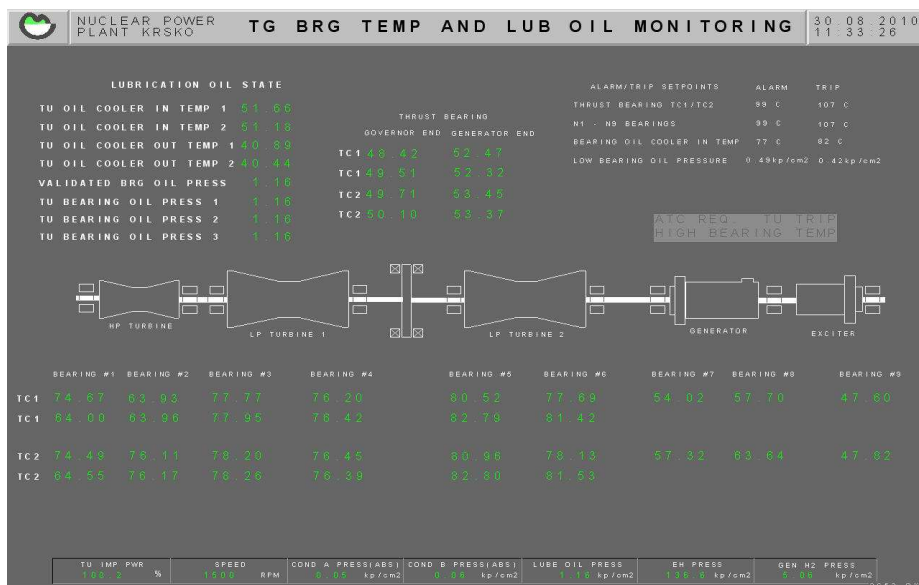
Kvalitetno održavanje opreme temelji se na visokoj osposobljenosti osoblja zaduženoga za održavanje i podizvođača te visokim radnim standardima. Odgovarajuća procjena stanja opreme, korištenje suvremenih metoda i kvalitetnih materijala donose dugoročnu radnu spremnost.

Važno je područje održavanja provjeravanje integriteta uređaja i materijala metodama koje se provode tijekom rada, kao što su ultrazvuk, vrtložne struje, i sl. U taj program spada prije svega strojna oprema koja radi pod tlakom i potencijalno je podložna eroziji i koroziji.

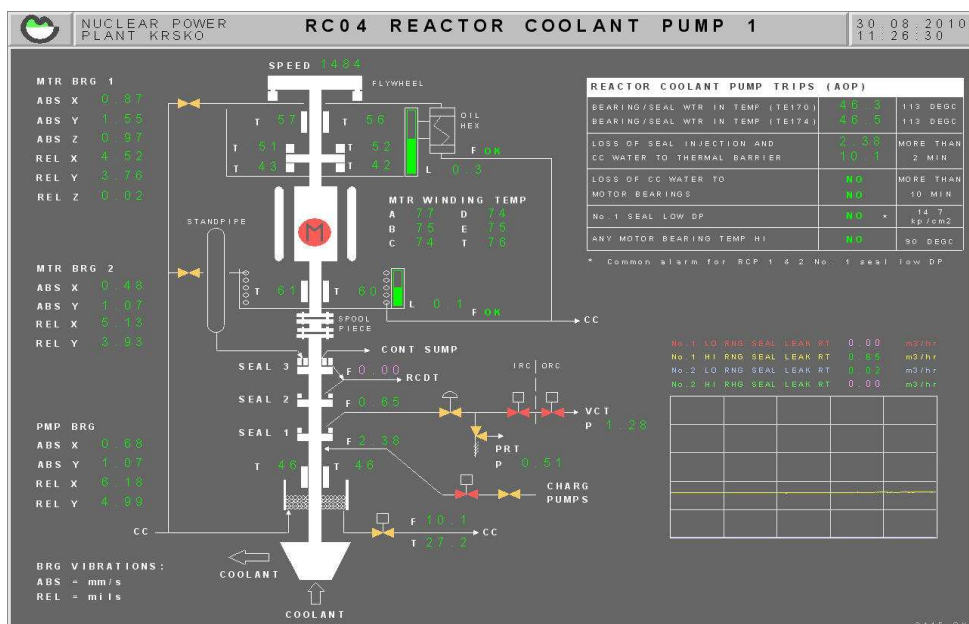
Poslovi održavanja u NEK-u izvode se većim dijelom za vrijeme redovitoga remonta, koji traje 4 tjedna. Tijekom redovnog rada održava se oprema koja se može izuzeti iz rada, tj. ona koja nije neophodna za kontinuirani rad elektrane.

Većina održavanja odvija se na temelju preventivnog programa na strojarskom, elektro-, instrumentacijskom i građevinarskom području. Korektivne aktivnosti izvode se u slučaju otkazivanja opreme. Važno je i napomenuti da se u NEK-u provodi i kontinuirani (*on-line*) monitoring neke od kritične opreme (turbina, reaktorske pumpe, generator), s ciljem maksimalne kontrole procesa i stanja tehničkih sustava i to putem PIS-a (*Process Information System*), kako bi se na vrijeme moglo intervenirati te dovesti ili održati kontrolirane parametre u propisanim granicama. Neki od parametara koji se kontinuirano prate na kritičnoj opremi su sljedeći:

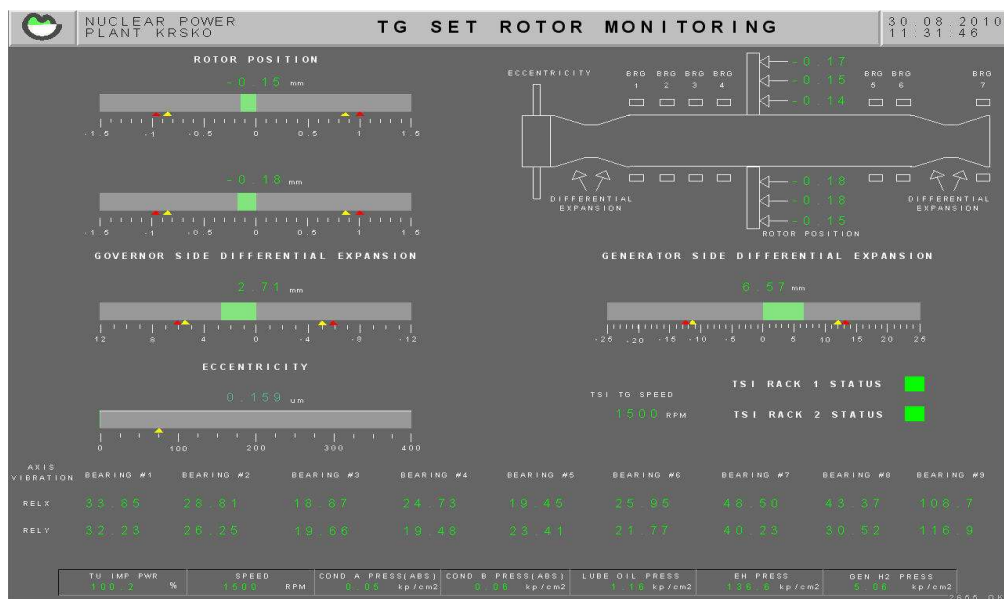
- ✚ Turbina - temperatura ležajeva, centriranost rotora u odnosu na ležajeve, pomak, broj okretaja, tlakovi na ulazu i izlazu iz visokotlačnog i niskotlačnog dijela
- ✚ RC Pumpe - temperatura ležajeva, broj okretaja, vibracije, protoci i temperature rashladnog medija za ležajeve i termalnu barijeru
- ✚ Glavni generator - temperatura ležajeva, temperatura rashladnog medija, centriranost rotora u odnosu na ležajeve, pomak



Slika 4.3 Kontinuirani monitoring turbine NEK-a



Slika 4.4 Kontinuirani monitoring reaktorske pumpe NEK-a



Slika 4.5 Kontinuirani monitoring generatora NEK-a

Važan su čimbenik uspješnog održavanja i vanjski izvođači, za koje je još posebno važno dublje poznavanje opreme i radnih standarda. Timska povezanost podizvođača i NEK-ovih stručnjaka omogućuje svladavanje kompleksnih poslova, kraće trajanje remonta te postizanje tražene kvalitete izvedenih radova.

Stalna tehnološka nadogradnja osigurava postizanje visokih sigurnosnih standarda i dugoročan rad. Na osnovi radnih iskustava u zemlji i u svijetu, tehnološkog razvoja i upravnih zahtjeva, NEK se stalno osuvremenjuje i tehnološki nadograđuje.

Plan modernizacije izvodi se na osnovu objektivne procjene stanja iz perspektive sigurnosti rada elektrane, pri čemu se uvažavaju i ekonomski aspekti, a temelji se na:[20]

- strateškim pogonskim smjernicama NEK-a,
- preporukama Uprave Republike Slovenije za nuklearnu sigurnost,
- preporukama institucija SAD-a kao isporučitelja tehnologije (*Westinghouse*),
- preporukama isporučitelja opreme,
- radnim iskustvima u zemlji i u svijetu.

Važnije modernizacije dosad su bile provedene 2000. godine, kad su zamijenjeni parogeneratori, prilagođena oprema za povećanje kapaciteta elektrane u skladu sa sigurnosnim analizama te izgrađen potpuni simulator kontrolne sobe za osposobljavanje pogonskih posada. Slijedile su modernizacije procesno-informacijskog sustava, fizičke zaštite te nadzora elektrane, a povećan je i kapacitet bazena za istrošeno gorivo. Godišnje se izvede oko 30 novih rješenja (modifikacija) s prosječnim godišnjim ulaganjem 10–15 milijuna eura. [20]

5 Analiza održavanja tehničkih sustava NEK-a

Tijekom prethodnih 5 godina, koliko sam zaposlen u ENCONET d.o.o., a od kojih sam veliki dio proveo u NEK-u, imao sam priliku upoznati kompleksnost procesa i postrojenja, te aktivnosti i probleme s kojima se susreće osoblje održavanja pri osiguravanju nesmetanog rada i sigurnosti kako nuklearnog reaktora, tako i svih ostalih sustava, procesa, postrojenja i opreme. Također, upoznao sam i način na koji izvršavaju svoje obaveze te kvalitetu obavljenog posla, no u ovoj se analizi neće detaljnije ulaziti u ova područja.

Iako sam u potpunosti svjestan odgovornosti osoblja koje radi na održavanju te težine poslova koje obavljaju i napora koje ulažu s ciljem povećanja efikasnosti, pouzdanosti i raspoloživosti opreme, s obzirom da se ovdje ipak radi o nuklearnoj elektrani koja predstavlja energetska postrojenje s maksimalnim rizikom i to ne samo za sve zaposlene unutar nje već i za bliži okoliš, jednako tako sam svjestan i postojanja mogućnosti za poboljšanje održavanja u cjelini. No, to su aktivnosti koje moraju biti pokrenute iznutra, promjenom stava prema održavanju i uz inicijativu i podršku menadžmenta.

Osim analize postojećeg sustava održavanja te prijedloga njegovog poboljšanja, u ovom će poglavlju ukratko biti dan prikaz aktivnosti koje se poduzimaju u NE u svijetu, i to prvenstveno u SAD-u i Japanu.

5.1 Analiza postojećeg sustava održavanja

Radi jasnoće izlaganja, prvo će biti navedeni uočeni nedostaci s detaljnijim osvrtom a zatim i prednosti postojećeg sustava održavanja u NE Krško.

Uočeni nedostaci:

- prediktivno održavanje nije implementirano u cijelosti, monitoring se vrši samo za određenu opremu bez obzira na značaj,
- veliki dio aktivnosti održavanja prebacuje se u vrijeme trajanja remonta,
- nedostatak vremena za poboljšanje održavanja i traženje i otklanjanje uzroka kvara,
- postoji sumnja u prihvatljivost i kvalitetu drugih metoda održavanja (RCM, RCA, TPM)

- ne prate se i ne analiziraju najnovija dostignuća u NE u svijetu, ne koriste se prednostima benchmarkinga
- nerazumijevanje provođenja nekih aktivnosti održavanja poput *Baseline Testing* (temeljni test funkcionalnosti)

Pristup održavanju tehničkih sustava NEK-a temelji se, manje-više, na općoj strategiji održavanja NE (slika 2.5, str. 30), za koju se tvrdi da je implementirana u potpunosti što bi značilo da su njome obuhvaćeni svi tipovi opreme za koje je utvrđeno da obavljaju sigurnosnu funkciju. No činjenica je da teorija i praksa nisu usklađene u cijelosti. Tehnike prediktivnog održavanja nisu zastupljene u onoj mjeri u kojoj bi to bilo i poželjno. Termografija je, primjerice, provedena prije nekoliko godina na jednom tipu opreme ali ne provodi se u kontinuitetu niti postoji plan i frekvencija provođenja. Što se tiče monitoringa, kontinuirano se prate parametri turbine, RC pumpi te glavnog generatora, a periodički se monitoring aktivno provodi na oko 30 MOV-a (*Motor Operated Valves*) i to tijekom remonta. Osim toga, redovno se, periodički i djelomično, provode i nerazorne metode (ultrazvuk) otkrivanja pukotina u nekim cjevovodima, koljenima, prijelazima i posudama pod tlakom. Provjera stanja opreme provodi se selektivno, doduše na opremi koja je bitna, ali nije i jedina za provođenje metoda dijagnostike stanja.

Dobar dio održavanja bazira se na aktivnostima koje se izvode tijekom redovnog remonta, a s obzirom da se kontinuirano radi na optimizaciji remonta, time se njegovo trajanje ne može skratiti već samo produžiti. Razlog za ovo je i to što su pretrpani poslom unutar 18 mjeseci između 2 remonta tako da nemaju dovoljno vremena nizašto drugo, a kamoli za nekakva poboljšanja održavanja ili analize uzroka kvarova. No, postavlja se pitanje: "Ako se nema vremena za analizu uzroka kvara te njegovo trajno uklanjanje, kako se nalazi vremena za njegov popravak kada se nenadano i opetovano pojavljuje?"

Prednosti benchmarkinga nisu poznate u NE Krško, ili jednostavno nemaju vremena i ljudi da se time pozabave. Primjenom ove metode upoznali bi se sa načinom rada u drugim NE i uvidjeli prednosti poboljšanja održavanja te, ako ništa drugo, pronašao i financijski interes u svemu tome s obzirom da reduciranje troškova održavanja pridonosi i smanjenju ukupnih troškova elektrane.

U svijetu MOV-a, AOV-a te protupovratnih (*check*) ventila pojam *baseline testing*, što je u stvari temeljni test funkcionalnosti, označava testiranje ventila s ciljem dijagnosticiranja njegovog općeg stanja te ukazivanje na eventualne greške i mogućnosti nastanka kvara. Ta se aktivnost dijagnostičkog testiranja ventila provodi isključivo sofisticiranom testnom opremom a ne vizualnim metodama kako to obavljaju u NEK-u. Međutim, kad se ljudi dugo drže nekih ustaljenih navika, makar i loših, onda one postaju pravilo ponašanja i teško ih je ili nemoguće promijeniti.

No, da u NE Krško nije sve tako crno, pokazati će i pozitivne strane postojećeg sustava održavanja:

- visok nivo sigurnosne kulture
- visok nivo stručnosti za poslove koje obavljaju
- maksimalna podređenost potrebama remonta
- poštivanje propisanih procedura preventivnog održavanja
- kvalitetan odnos menadžmenta održavanja sa podređenima.

Svi zaposleni u NEK-u savjesni su i odgovorni što se tiče nuklearne i radne sigurnosti, s tim nikad nije bilo problema o čemu govori i statistika povreda na radu te kontaminiranosti nuklearnim zračenjem ili bilo koje druge vrste povreda, koja je u NEK-u iznimno niska. Svake se godine organiziraju jednodnevni tečajevi o sigurnosti na radu i zaštiti od požara, te svakih 5 godina radiološka zaštita, a njihovo uspješno polaganje predstavlja uvjet ulaska u krug NEK-a te rad s alatima i opremom.

Također, ono što se mora spomenuti, to je stručnost osoblja održavanja, naravno, u onoj mjeri u kojoj to znanje mogu praktično primijeniti, što ih čini pouzdanima u izvršavanju djelatnosti održavanja. Stručno usavršavanje i tečajeve prolaze u SAD-u, gdje su praktičan rad i ispiti rigorozni, a osim toga omogućen im je i odlazak na razne stručne skupove i konferencije u Europi i SAD-u. Uz to, osigurano im je i studiranje uz rad, kao dodatna motivacija i način specijalizacije.

Ono što je menadžmentu NEK-a izuzetno bitno to je remont postrojenja (*outage*) za čije se vrijeme trajanja sve podređuje zahtjevima održavanja. To znači da se po potrebi ostaje i popodne i navečer, što se nekad zna produljiti i do jutra. Toga su svi svjesni tako da se tih 4 tjedna trajanja remonta svi ponašaju maksimalno savjesno i odgovorno, nastojeći kvalitetno i

na vrijeme izvršiti sve obaveze, što pridonosi krajnjem cilju a to je planirano trajanje remonta te startanje nuklearke u točno predviđeno vrijeme.

Propisane procedure osnovnog preventivnog održavanja, dakle prema kalendaru, satima rada ili ciklusima, predstavljaju pravilo za osoblje održavanja kojeg se striktno pridržavaju i tu se nema što prigovoriti. Osim toga, procedure se redovno kontroliraju te dopunjuju i poboljšavaju kako bi taj segment održavanja bio što kvalitetnije izvršen. Također i ostale aktivnosti preventivnog održavanja se redovno provode, poput ISI (*In-Service Inspection*), IST (*In-Service Testing*) te vizualnih kontrola.

Ovdje treba spomenuti i izuzetno korektan i kvalitetan odnos menadžmenta održavanja i osoblja održavanja, inženjera i tehničara. Tehnički direktor i direktor održavanja otvoreni su za sve probleme i prijedloge zaposlenih, te su uvijek spremni saslušati i savjetovati te motivirati zaposlene.

5.2 Prijedlog poboljšanja postojećeg sustava održavanja

U nuklearnoj elektrani u kojoj je implementiran program i praksa održavanja, svaki daljnji napor za unapređenjem efikasnosti održavanja zahtijevat će top-down pristup, tj. proces pokrenut od strane menadžmenta, te će osim promjene u kulturi ponašanja zahtijevati i promjene u načinu razmišljanja o održavanju, i to na način da će trebati prihvatiti sljedeće činjenice:

- menadžment elektrane i osoblje održavanja moraju održavanje prihvatiti kao **profitni a ne troškovni centar**
- poboljšanje efikasnosti održavanja **kontinuiran je proces** a ne kratkotrajno pomodarstvo.

I ovdje je bitno da menadžment održavanja ima određenu viziju što se u konačnici želi ovim pristupom postići. Ciljevi programa optimizacije održavanja NE u prvom se redu odnose na povećanje sigurnosti i pouzdanosti opreme i postrojenja te nuklearne elektrane u cjelini, a zatim i na troškove održavanja, koji također igraju dosta bitnu ulogu pri ocjeni efikasnosti održavanja. Ključni su ciljevi optimizacije održavanja, zajedno sa sredstvima koja će poslužiti za njihovo postizanje, navedeni u tablici 5.1. [1]

Tablica 5.1 Ključni ciljevi procesa optimizacije

KLJUČNI CILJEVI	SREDSTVA ZA POSTIZANJE CILJEVA
Sigurnost	Osigurati sigurnosne sustave predviđanjem kvara
	Smanjiti izloženost radijaciji
	Smanjiti rizik od oštećenja jezgre reaktora
	Smanjiti rizik gubitka rashladnog sredstva
	Smanjiti rizik od nekontroliranog zagađenja okoline
Pouzdanost	Spriječiti kvarove kritične opreme
	Poboljšati performanse opreme
	Smanjiti neplanirane gubitke snage
	Smanjiti rizik tijekom testiranja sigurnosnih sustava
	Rano otkrivanje mehanizama starenja
Smanjenje troškova	Smanjenje ukupnih troškova održavanja
	Povećati efikasnost elektrane
	Optimizirati planiranje remonta
	Eliminirati neplanirane troškove
	Optimizirati korištenje doknadnih dijelova
	Dostići povrat investicija za sve korištene tehnike održavanja
Raspoloživost	Smanjiti vrijeme opreme u otkazu radi održavanja
	Smanjiti vrijeme komponenti u otkazu radi održavanja
	Poboljšati indikatore performansi sigurnosnih sustava
	Maksimizirati vrijeme raspoloživosti opreme
	Optimizirati trajanje remonta
Nove tehnologije	Korištenje sofisticiranih tehnika održavanja
	Potaknuti korištenje nerazornih metoda održavanja

Sve navedeno, zajedno s ključnim ciljevima te putovima za njihovo postizanje, koji mogu biti i drukčiji od predloženih u tablici, mora biti uzeto u obzir prije pokretanja bilo kakvog poboljšanja održavanja, jer u protivnom poboljšanje neće ići željenim tempom niti će polučiti željene rezultate.

Prediktivno održavanje sastavni je dio postojeće strategije održavanja NE u svijetu pa tako i u NE Krško, međutim radi se o tome da ono nije implementirano u cijelosti te se ne provodi u onoj mjeri u kojoj bi to bilo prihvatljivo i poželjno.

Kako je već navedeno, tehnike prediktivnog održavanja nisu zastupljene u onoj mjeri u kojoj bi trebale niti se dijagnostika provodi na svim tehničkim sustavima na kojima je to neophodno, a s obzirom na njihovu kritičnost.

Upravo iz toga razloga kao uvjet poboljšanja cjelokupnog održavanja NEK-a, predloženo je prediktivno održavanje, pod uvjetom da se implementira u cijelosti te da sva oprema koja je kritična za sigurnost NE, bude uključena u ovaj program, kao i korištenje tehnika kontrole, testiranja i dijagnosticiranja stanja, poput kontrole i praćenja vibracija, termografije, ultrazvučne metode, dijagnostike stanja AOV-a, vizualnih inspekcija te tribologije, ali u većoj mjeri nego što je to trenutno slučaj.

Vizualne inspekcije predstavljaju također jednu od obaveznih metoda prediktivnog održavanja koja mora biti zastupljena te provođena odgovorno i redovno, u skladu sa samim programom. Ova je metoda u NEK-u zastupljena i na nju se uvijek pozivaju, međutim ako se ne provodi redovno, detaljno i na propisani način, te s neophodnim mjernim instrumentima, neće polučiti one rezultate koji se od nje očekuju. Unutar vizualnih inspekcija, moraju se koristiti obje metode, subjektivne i objektivne. Subjektivne ovise prvenstveno o ljudskom faktoru i ljudskim osjetilima, dok se kod objektivnih služi određenim mjernim instrumentima.

5.2.1 Cjelovita implementacija programa prediktivnog održavanja

Prediktivno održavanje ne predstavlja zamjenu tradicionalnim metodama menadžmenta održavanja, već je, naprotiv, izuzetno vrijedan dodatak cjelovitom programu održavanja tehničkih sustava.

Tradicionalni pristup održavanju temelji se na rutinskim servisima opreme, te brzim djelovanjem u slučaju neočekivanih kvarova, dok se kod prediktivnog održavanja planiraju specifični zadaci održavanja i to po potrebi, tj. onda kad to zahtijeva oprema. Ono ne može eliminirati kontinuiranu potrebu za drugim oblicima održavanja (do otkaza i preventivno), ali može smanjiti u znatnoj mjeri broj neočekivanih kvarova, te pružiti pouzdanije sredstvo za rutinske aktivnosti preventivnog održavanja.

Osnovno polazište prediktivnog održavanja je da redovno praćenje stanja opreme i operativne učinkovitosti procesa, može osigurati maksimalni interval između popravaka, i to na način da minimizira broj neophodnih remonta i njihovih troškova, te povećanjem raspoloživosti i pouzdanosti radnog postrojenja.

Koristi proizašle iz korištenja tehnologija prediktivnog održavanja ovisit će o načinu na koji je sam program implementiran. Brojni neuspjesi implementacije programa prediktivnog održavanja nastali su kao rezultat ignoriranja tri dokazano odlučujuća faktora, koji predstavljaju temelj uspjeha implementacije i održivosti takovog programa. Ti su faktori sljedeći:[17]

- značaj specijalističke obuke osoblja održavanja,
- upošljavanje vanjskih konzultanata,
- formiranje kvalitetnog tima (ili timova).

Menadžment održavanja NEK-a često zanemaruje upravo zadnja dva uvjeta, znanje i iskustvo vanjskih konzultanata te formiranje kvalitetnog tima (ili timova).

Sama kupovina skupe i sofisticirane opreme te što brže uvođenje programa i bacanje nesprenih ljudi u vatru, s idejom da se dalje ne ulaže i da se sve može svladati lako i preko noći, siguran je put do propasti takovog pothvata i gubitka velikih financijskih sredstava, a što u samom korijenu sadrži u prvom redu nesposobnost odgovornih i njihovu glad za što bržim uspjehom. Na prediktivno održavanje mora se gledati kao na dugoročno ulaganje, s obzirom da je dugoročna dobit smisao ovog pristupa. Najznačajnija ekonomska korist dolazi kroz unapređenje održavanja te njegove manje troškove, što u konačnici smanjuje i ukupne troškove.

5.2.1.1 Razlozi implementacije programa prediktivnog održavanja

Prediktivno se održavanje implementira iz sljedećih razloga: [17]

- 1.) kao sredstvo menadžmenta održavanja,
- 2.) kao sredstvo optimiziranja postrojenja,
- 3.) kao sredstvo povećanja pouzdanosti.

1. Sredstvo menadžmenta održavanja

U tradicionalnom smislu, prediktivno održavanje koristilo se isključivo kao sredstvo ili alat menadžmenta održavanja. U većini slučajeva bilo je ograničeno na sprečavanje neplaniranih remonta i/ili teških kvarova. Iako je kao sredstvo od velikog značaja, prediktivno održavanje može pružiti znatno više koristi povećavajući djelokrug samog programa.

Naglasak programa morao bi biti na eliminiranju nepotrebnih zastoja, nepotrebnih preventivnih i korektivnih aktivnosti održavanja, na povećanju vijeka trajanja kritičnih sustava, te smanjenju ukupnih troškova sustava.

2. Sredstvo optimiziranja postrojenja

Tehnologije prediktivnog održavanja mogu pružiti mnogo veću korist kada se koriste kao sredstva optimizacije postrojenja. Ove se tehnologije, npr., mogu koristiti za uspostavu najboljih proizvodnih procedura i postupaka, za sve kritične proizvodne sustave unutar postrojenja. Prediktivne tehnologije mogu se koristiti kao sredstvo planiranja trenutnih kapaciteta, te pružanje neophodnih podataka za utvrđivanje važećih procedura, u skladu sa

zahtjevima povećane proizvodnje, a sve to bez povećanja troškova održavanja i smanjenje radnog vijeka opreme. Jednostavno rečeno, ove tehnologije omogućuju osoblju da kvantificira uzročno-posljedične veze različitih modova operacija. Ta sposobnost mjerenja djelovanja različitih modova operacija na pouzdanost i troškove održavanja, treba biti temelj za donošenje zdravih poslovnih odluka.

3. Sredstvo povećanja pouzdanosti

Sposobnost mjerenja i najmanjih odstupanja od normalnih operativnih parametara, dozvoljava stručnom osoblju da planira i raspoređuje aktivnosti održavanja za koje se utvrdi da ih je neophodno provesti, ujedno uklanjajući potrebu za remontom i stajanjem opreme.

Da bi implementacija programa prediktivnog održavanja bila uspješna i svrsishodna, morala bi biti cjelovita, tj. obuhvatiti sve tehničke sustave koji su proglašeni kritičnima a ne samo pojedine, te sve tehnike dijagnosticiranja stanja, za koje u NE ima mjesta s obzirom na zastupljenost svih vrsta i tipova tehničkih sustava.

5.2.1.2 Tehnike prediktivnog održavanja

Različite se tehnike mogu i moraju koristiti kao dio cjelovitog programa prediktivnog održavanja. Zbog toga što su mehanički sustavi i strojevi dijelovi većine današnjih postrojenja, praćenje i analiza vibracija predstavljaju ključnu komponentu većine programa prediktivnog održavanja, bez obzira što praćenje vibracija ne može pružiti sve kontrolne informacije koje zahtjeva program prediktivnog održavanja.

Ova je tehnika ograničena na praćenje mehaničkog stanja, a ne i drugih kritičnih parametara neophodnih za održavanje pouzdanosti i efikasnosti strojeva.

Cjeloviti program prediktivnog održavanja mora uključiti i druge tehnike praćenja, dijagnostike i analize. Ove tehnike uključuju praćenje i analizu vibracija, termografiju, tribologiju, praćenje parametara procesa, vizualne kontrole, ultrazvučne metode, praćenje performansi te druge tehnike testiranja bez razaranja (NDT). [17]

Osim toga, kao dvije novije tehnike prediktivnog održavanja danas postoje i dijagnostika stanja MOV-a (*Motor Operated valves*) i AOV-a (*Air Operated Valves*). U NEK-u je implementiran MOV program tako da se dijagnostika ovih ventila provodi redovno.

Međutim, neophodno je intenzivirati dijagnostiku stanja AOV-a i to stručno, savjesno i odgovorno s obzirom da su ti ventili kontrolni te imaju izuzetno odgovornu funkciju u svakoj NE, kako će biti detaljnije razjašnjeno u idućim poglavljima.

Isto tako, treba imati u vidu da, unatoč svim navedenim tehnikama praćenja stanja opreme i njihovim prednostima, postoje brojni slučajevi gdje se prediktivno održavanje nije pokazalo kao korisno i isplativo za organizacije. Osnovno razlozi tome bili su nedovoljna podrška menadžmenta, loša organizacija i planiranje te nedostatak neophodnih znanja i vještina osoblja održavanja. Ukratko, uz potpunu podršku i pomoć menadžmenta te adekvatna ulaganja u ljude i opremu, program prediktivnog održavanja može u relativno kratkom vremenu dati izuzetne rezultate.

5.2.1.3 Konkretna dobiti implementacije

Istraživanja provedena u 500 tvrtki [17] koje su implementirale program prediktivnog održavanja, pokazuju znatan napredak i poboljšanje pouzdanosti, raspoloživosti te smanjenje operativnih troškova.

Osim toga, ista istraživanja pokazuju i veliko povećanje radnog vijeka strojeva i opreme, proizvodnosti, radne sigurnosti, kvalitete proizvoda, te svekolike profitabilnosti. Stvarni troškovi, povezani s aktivnostima održavanja, smanjeni su za više od 50%. Redovno praćenje stanja strojeva i sustava, dovelo je do smanjenja broja katastrofalnih, neočekivanih kvarova, za oko 55%. Prosječno poboljšanje srednjeg vremena do popravka (MTTR - *mean-time-to-repair*), odnosno njegovo povećanje, iznosilo je 60%.

Sposobnost predviđanja kvarova strojeva i opreme, pružilo je mogućnost za smanjenje inventara doknadnih dijelova za više od 30%. Sprečavanje katastrofalnih kvarova i rano otkrivanje početnih problema opreme i sustava, povećalo je korisni radni vijek istih za prosječno 30%.

U svakoj od 500 tvrtki u kojima je provedeno istraživanje, raspoloživost opreme i sustava povećano je nakon implementacije programa prediktivnog održavanja za prosječno 30%.

Veliku dobit od prediktivnog održavanja predstavlja i mogućnost praćenja srednjeg vremena između kvarova (MTBF - *mean-time-between-failures*), te njegovo povećanje. Ti podaci daju mogućnost određivanja najefikasnijeg vremena za zamjenu opreme i dijelova.

5.2.2 Benchmarking – poboljšavanje uspoređivanjem

Ranih 90-ih godina ova je aktivnost bila u žiži interesa kao nešto čime se može bitno poboljšati poslovanje s obzirom da je ono nudilo ključ ka sigurnom uspjehu, uz relativno malo uloženog napora, jednostavno učeći od onih koji postižu bolje rezultate, i koji su, naravno, spremni omogućiti uvid u način njihovog poslovanja. Mada se nekima činilo kao trenutni modni hir koji nema sigurnu budućnost, te se mora koristiti i "industrijskom špijunažom" u nedostatku boljih metoda, benchmarking se uspio etablirati kao sigurno sredstvo, ili alat, za unapređenje poslovanja. Danas je ono metoda koja se preporuča i potiče u unapređenju poslovanja, te posebno unutar održavanja tehničkih sustava nuklearnih elektrana. Postoje brojne definicije benchmarkinga, ali ovdje će biti dana definicija koja se koristi unutar područja održavanja (*Maintenance Terminology*), a ona kaže da je benchmarking: [21]

"...proces usporedbe performansi s ostalim organizacijama, identificirajući one organizacije koje postižu visoke performanse, te učeći od njih što je to što one poduzimaju a da im omogućava postizanje visokog nivoa performansi."

Uspoređivanje (Benchmarking) održavanja je alat koji uspoređuje organizaciju i njene performanse s vanjskim standardima i iskustvima te istovremeno utječe na otklanjanje uočenih propusta.

Korištenje metode benchmarkinga omogućit će: [22]

- bolje razumijevanje poslovnih procesa,
- stjecanje novih znanja te pojavu novih ideja za unapređenje poslovanja,
- sposobnost praćenja i prepoznavanja naprednih inicijativa koristeći postojeća znanja iz organizacija sa najboljim iskustvima.

Benchmarking je alat koji omogućuje analizu i usporedbu temeljenu na činjenicama, te kroz to realistično poboljšanje poslovnih procesa, te na taj način predstavlja respektabilnu i sve više korištenu praksu u poslovnom svijetu. To je proces identificiranja i razumijevanja najboljih poslovnih praksi svjetskih organizacija, te njihova prihvaćanja i apliciranja s ciljem poboljšanja poslovnih procesa. Za razliku od nekih drugih alata, benchmarking se bazira na stvarnim, kvantitativnim podacima, koji omogućuju usporedbu stvarnog trenutnog stanja firme u odnosu na tržište. Ponavljanjem benchmarkinga u pravilnim vremenskim periodima omogućuje se efektivno monitoriranje trenutnog stanja i progressa sustava.

Benchmarking je potvrđena i testirana metodologija koja ima rastući trend u svijetu u velikom broju firmi bez obzira na djelatnost ili veličinu. [22]

Benchmarking se provodi na način da utvrđuje niz tzv. ključnih indikatora performansi sustava (*KPI*). Tako dobiveni podaci usporedit će se s podacima drugih organizacija (usporedivim po veličini i djelatnosti – stvarna ili potencijalna konkurencija), te se na jednostavan način vizualno i kvantificirano vide snage i slabosti organizacije.

Utvrđeno stanje tada postaje osnova razvijanja strategije budućeg rasta i ponašanja i realnih, mjerljivih akcija. Nakon generalne snimke stanja, kompanija se može odlučiti i za daljnju i detaljniju snimku i obradu pojedinih industrijskih sektora ili poslovnih aktivnosti, procesa i funkcija, te još detaljnije razviti strategiju akcija i mjera u određenom području. Razvoj najboljih praksi kroz benchmarking predstavlja kritičnu aktivnost u poslovnom svijetu. Na taj način pojedine organizacije sustavno postižu viši nivo performansi, ali isto tako i vlastitu konkurentsku poziciju. [23]

Ova se metoda usporedbe s najboljima u određenom području, u ovom slučaju to je održavanje u NE, pokazala od neprocjenjivog značaja za poboljšanje održavanja kako pojedinačne opreme tako i održavanja NE u cjelini. Metoda benchmarkinga danas se ne samo preporučuje nego se i zahtijeva njeno provođenje od strane NRC-a, IAEA i ostalih krovnih organizacija, kako bi se u svim NE aktivnosti održavanja tehničkih sustava podigle na puno viši nivo, učeći od onih gdje je taj nivo već ostvaren.

Osnovni cilj korištenja metode benchmarkinga je raditi kvalitetnije uz minimalne troškove.

5.3 Primjeri poboljšanja održavanja u NE SAD-a i Japana

Počeci poboljšavanja održavanja tehničkih sustava NE u SAD-u sežu u 80-te godine 20. stoljeća. Oni su na vrijeme uvidjeli koje sve prednosti donosi implementacija suvremenih metoda održavanja, od povećanja pouzdanosti i raspoloživosti do povećanja efikasnosti i smanjenja troškova. Naravno, pristup kojem su oni dali prednost prvotno je i nastao i razvio se u SAD-u, te se i dokazao kao uspješan. Taj je pristup poznat kao RCM, održavanje usmjereno na pouzdanost.

Kao pilot projekt implementacije RCM-a poslužile su tri NE, i to *Turkey Point* na Floridi, *San Onofre* u Kaliforniji te *McGuire* u Sjevernoj Karolini, nakon kojih se uključilo još 12 NE također na tlu Amerike.

S obzirom na vidljive i mjerljive rezultate te znatne dobiti nakon probnog uvođenja metode RCM, ove su NE odlučile još intenzivnije krenuti s implementacijom ovog programa. [24]

Osim ovih koje su krenule s RCM pristupom, neke su, poput NE *Catawba* i *Oconee*, a također i *McGuire*, započele s intenzivnom implementacijom i primjenom metoda prediktivnog održavanja, dok je ujedno NE *Catawba* osvojila i američku nagradu *Predictive Maintenance Program of the Year*, tj. nagradu za najbolji program prediktivnog održavanja u 2007. godini, a 2008. osvaja i nagradu INPO-a za inovaciju iz područja monitoringa tehničkih sustava. Osim toga, tri su američke NE, *Catawba*, *Oconee* i *McGuire*, razvile samostalnu strategiju prediktivnog održavanja koja se sastoji od 7 ključeva za uspješno održavanje. Ove su NE osim prediktivnih tehnika, intenzivno koristile i metode poput FMEA i RCA.

Također, uvidjeli su i korist od metode *benchmarkinga*, te su nakon osnivanja timova, počeli intenzivno raditi na usporedbi s nekim japanskim NE te također i s klasičnim elektranama, Belews Creek i Savannah River. [24]

Osim navedenoga, u SAD-u se krenulo i sa implementacijom AOV programa, o kojem će biti više riječi u sljedećem poglavlju, i to u čak 56 od ukupno 104 NE koliko ih je izgrađeno na američkom tlu.

Što se tiče NE u Japanu, pristupi održavanju praktički se ne razlikuju puno od pristupa u drugim oblicima proizvodnih djelatnosti. Poznato je da je u Japanu uvijek kvaliteta bila na prvom mjestu pa tako i ovdje, s tim da se prilagođavaju i drugim filozofijama, poput TPM, RCM te metode RCA. Demingov duh ondje još uvijek živi a isto tako i njegova metoda TQM zajedno s PLAN - DO - CHECK - ACT. To je vidljivo na primjeru 3 NE u Japanu, i to Kashiwazaki, Fukushima1 i Fukushima2, a ovi će se pristupi koristiti i u NE koja je još u fazi konstrukcije, a to je Higashidori na sjeveru Japana. Poznavajući japansku filozofiju i kulturu, neće biti neobična niti spoznaja da su smislili novu znanost – znanost o održavanju (*maintainology*), koja je još, praktički, u povojima, no ne treba sumnjati da će iznjedrati dosta korisnih rješenja. [25]

Unatoč provedenim poboljšanjima te očiglednim nastojanjima da se krene u smjeru proaktivnog pristupa, još uvijek su vidljivi veliki nedostaci u pristupima održavanja u NE. Više od svega zabrinjava činjenica da aktivnosti preventivnog i korektivnog održavanja predstavljaju vodeće uzroke nastanka kvarova na određenim tipovima opreme (AOV) u većini nuklearnih elektrana.

Ono što se može pretpostaviti je da im je najvažniji kratkoročni uspjeh te samozadovoljstvo nakon prvih pozitivnih rezultata, smatrajući da će oprema dalje kvalitetno raditi sama po sebi, umjesto da se radi na uspostavljanju pouzdanog sustava kontinuiranog poboljšanja održavanja.

6 Razvoj i implementacija programa gospodarenja zračno upravljanim ventilima

Nakon kratkog uvoda o tome koja je njihova funkcija, značaj za sigurnost nuklearne elektrane te glavnih dijelova i pomoćne opreme, bit će dan prikaz programa zračno upravljanih ventila kroz faze njegove implementacije, kako je predloženo od strane *Joint Owners Group Air Operated Valves (JOG AOV) Committee*, dakle odbora formiranog u SAD-u od strane nekoliko kompanija proizvođača i korisnika zračno upravljanih ventila (*Westinghouse, Babcock&Wilcox, Combustion Engineering, Duke Engineering*), a s ciljem određivanja osnovnih zahtjeva koji se moraju postavljati na same AOV-e kako bi se osiguralo da budu sposobni izvršavati zadanu sigurnosnu funkciju.

6.1 Zračno upravljani ventili – AOV

Zračno upravljani ventili igraju iznimno važnu i odgovornu ulogu u automatskoj regulaciji modernih industrijskih postrojenja. Za pravilan izbor i dimenzioniranje ovih ventila neophodna su mnoga tehnička znanja, poput poznavanja tehnoloških procesa, projektnih kriterija, poznavanja konstruktivnih izvedbi ventila i njihove namjene, poznavanja širokog kruga proizvođača koji stručnim savjetima i iskustvom mogu pomoći pri odabiru odgovarajućeg ventila.

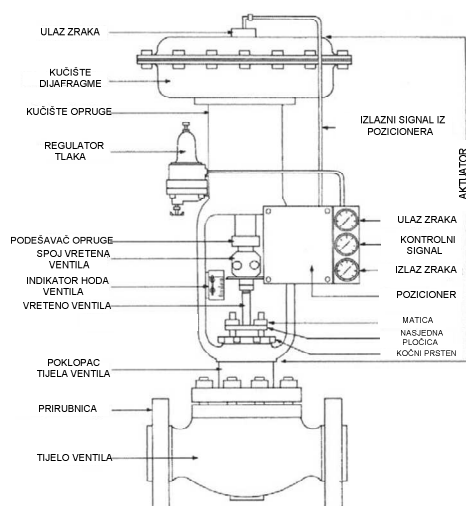
Pravilan odabir ventila, kako u tehnološkom tako i u konstruktivnom smislu, u značajnoj mjeri određuje kvalitetu i sigurnost rada postrojenja glede njihove funkcije, kao i ekonomičnog vođenja i upravljanja.

6.1.1 Konstrukcijske izvedbe i namjena AOV-a

Zračno upravljani ventili (*Air Operated Valves – AOV*) spadaju u grupu regulacijskih ventila upravljanih zrakom pod visokim tlakom. Oni ujedno predstavljaju i finalni element kontrolne petlje (engl. *Control loop* – kontrolna petlja, upravljački krug) koja se još sastoji od mjernog osjetila (transmitera) i kontrolera.

U procesnim postrojenjima, poput nuklearnih elektrana, postoji na tisuće kontrolnih krugova za automatsku regulaciju procesa kako bi se omogućilo da postrojenje radi efikasno i bez zastoja. Svaki je od tih krugova dizajniran tako da bude u stanju održavati kritične parametre procesa, poput tlaka, protoka, temperature, nivoa, i sl., unutar specificiranih margina zahtijevanih uvjetima procesa, s ciljem osiguravanja što kvalitetnijeg izlaznog proizvoda, što je u ovom slučaju električna energija određenih parametara.

Međutim, svaki od tih kontrolnih krugova prima te i sam stvara određene smetnje ili poremećaje, koji negativno utječu na stabilnost samih procesa. Kako bi se reducirao utjecaj tih poremećaja, osjetila i pretvornici prikupljaju i obrađuju informacije o parametrima procesa te ih šalju ka kontroleru (pozicioner). Pozicioner procesira dobivene informacije te određuje što je neophodno učiniti kako bi se proces stabilizirao, tj. kritični parametri doveli u željene granice. Nakon što se utvrdi željeno stanje procesa te veličine kritičnih parametara, određeni kontrolni element mora provesti akciju s ciljem dovođenja procesa u željeno stanje. Takav kontrolni element predstavlja kontrolni ventil, u ovom slučaju je to zračno upravljani ventil. Ovi ventili manipuliraju na taj način protokom fluida, koji može biti plin, para, voda ili neki kemijski aditiv, s ciljem kompenziranja poremećaja te održanja procesnih parametara u dozvoljenim granicama. Funkcija ovih ventila je dvojaka: regulacijska i izolacijska.



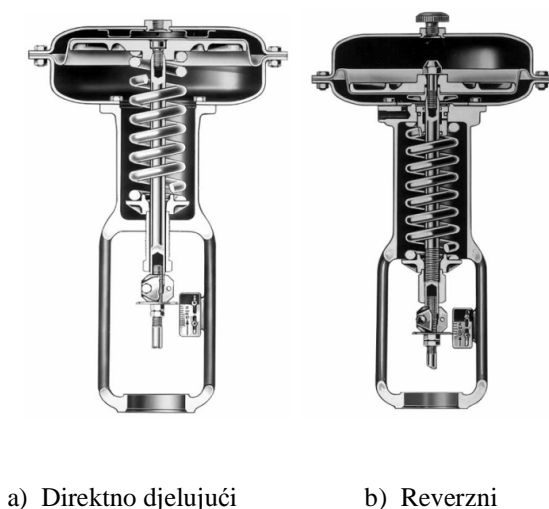
Slika 6.1 AOV s pomoćnom opremom

Tipični AOV s pomoćnom opremom kao kompletan kontrolni krug, prikazan je na slici 6.1 [26]. Namjena im je da pri prolasku medija kroz cjevovod (voda, plin, para) propuštaju i reguliraju željenu količinu protoka pri punjenju ili pražnjenju rezervoara, dotoku rashladnog sredstva, dodavanju raznih aditiva, protoka pare, i sl. Osim toga, izuzetno važna funkcija koju obavljaju je i ona izolacijska, ukoliko se, iz bilo kojeg razloga, ukaže potreba za izoliranjem određenog sustava ili dijela sustava, kako unutar elektrane, tako i izoliranje u slučaju kontaminacije da se spriječi istjecanje radioaktivnih tvari u okoliš.

Osnovna se podjela AOV-a vrši na osnovu konstrukcijske izvedbe aktuatora ventila. S obzirom na način djelovanja instrumentacijskog zraka (AIR-TO-CLOSE; AIR-TO-OPEN), podjela je sljedeća: [26]

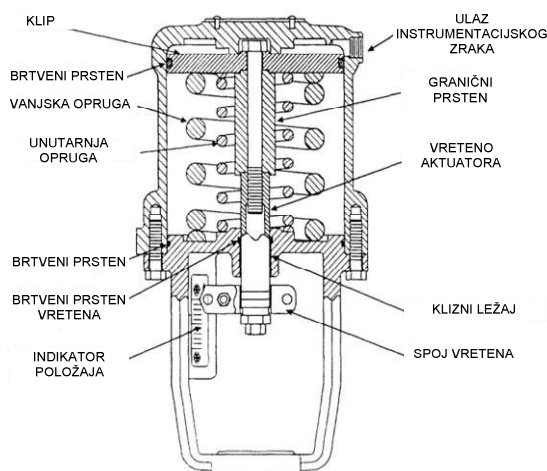
- direktno djelujući (*direct acting*), slika 6.2-a
- povratno djelujući ili reverzni (*reverse acting*), slika 6.2-b

Kod direktno djelujućih aktuatora tlak instrumentacijskog zraka stvara silu koja nastoji zatvoriti ventil dok ga opruga otvara. Kod reverznih (povratnih) aktuatora je obratan slučaj, sila na dijafragmu nastoji otvoriti ventil dok ga opruga zatvara.



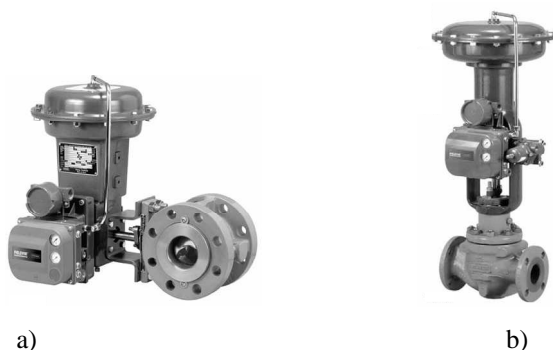
Slika 6.2 Tipovi aktuatora

Osim prikazanih konstrukcija aktuatora, postoje i takovi kod kojih se umjesto dijafragme koristi klip u cilindru, s ili bez opruge (slika 6.3). [26]



Slika 6.3 Cilindar aktuator s oprugom

Ukoliko nije instalirana opruga, takovi se aktuatori nazivaju dvoradni, zbog ulaska zraka u cilindar s obje strane klipa.



Slika 6.4 Izgled AOV ovisno o tipu ventila: a) leptir i kuglastih ventila
b) zasuna, gljivastih (*globe*) i membranskih ventila

Na prethodnim su slikama prikazani aktuatori za ventile kod kojih se kontrola protoka vrši podizanjem zapornog elementa (npr. zasuni), dok je na slici 6.4-a primjer izvedbe aktuatora za zakretne (tzv. *quarter turn*) ventile, poput leptir ventila ili kuglastog, kod kojih se pravocrtno gibanje vretena pretvara u kružno gibanje zapornog elementa.

Na slici je, radi usporedbe konstruktivnih izvedbi, prikazan i aktuator za ventile s podiznim mehanizmom (6.4-b). [26]

Među proizvođačima zračno upravljanih ventila danas u svijetu postoje, da nabrojim samo neke, FISHER, COPES-VULCAN, SAMSON, VALTEK, MASONILAN, CRANE, i dr., od kojih prevagu definitivno odnosi FISHER, koji svojom kvalitetom, jednostavnošću, dizajnom i pogodnošću za održavanje, daleko nadmašuje ostale svjetske proizvođače.

6.1.2 Sigurnosna funkcija AOV-a

Sigurnosna funkcija AOV-a je ono osnovno što ga odvaja od ostalih ventila u elektrani. Sposobnost ventila da pređe u željeni položaj u određenom trenutku, pri čemu počinje vršiti svoju sigurnosnu funkciju, čini ga neizostavnim i, ujedno, najvažnijim dijelom automatske regulacije procesa nuklearne elektrane.

Sigurnosni položaji su *FAIL OPEN* (FO) i *FAIL CLOSE* (FC). *FAIL OPEN* položaj znači da u slučaju gubitka napajanja aktuatora ventila instrumentacijskim zrakom, ventil prelazi u otvoreni položaj, dakle u ovom je slučaju sigurnosna funkcija AOV-a da omogući puni protok kroz ventil.

Suprotno tome, *FAIL CLOSE* položaj znači da ventil, u slučaju gubitka napajanja zrakom, prelazi u potpuno zatvoren položaj, pri čemu prestaje svaki protok kroz ventil. Ovo je karakteristično za ventile koji imaju izolacijsku funkciju.

Jasno je vidljiva veza između konstrukcije aktuatora i sigurnosne funkcije, pri čemu za *FAIL CLOSE* položaj koristimo reverzne, dok za *FAIL OPEN* koristimo direktno djelujuće aktuatore.

Sustavi i komponente bitne za sigurnost su, u pravilu, višestruki (redundancija, tj. zalihost sustava i komponenti), njihovo napajanje energijom je osigurano iz više strana koje su odvojene i fizički. Instrumenti i oprema, posebno ventili bitni za sigurnost moraju imati svojstvo da kod kvara ili gubitka napajanja (ako se desi da AOV ostane bez dovoda zraka)

ostanu u položaju koji podržava sigurnost postrojenja (taj se položaj na engleskom naziva *fail safe position*).

6.1.3 Pomoćna oprema AOV-a

Pomoćna oprema omogućava da ventil obavlja nesmetano svoju regulacijsku/izolacijsku funkciju. U pomoćnu opremu spadaju pozicioner, regulator tlaka, solenoidni ventil i graničnici kretanja. Pomoćna oprema, osim solenoidnog ventila, može se vidjeti na slici 6.1.

Kada se govori o regulaciji procesa, prvo što treba spomenuti to je pozicioner, najvažniji dio regulacijskog kruga. Pozicioner je uređaj koji precizno, uz pomoć zraka pod tlakom, pozicionira vreteno ventila, tj. precizno određuje otvor ventila, a uz pomoć pneumatskog signala. U pozicioneru se trenutni položaj vretena uspoređuje sa željenim, te se u skladu s tim propušta veći ili manji tlak na dijafragmu aktuatora, već ovisno o tome treba li ventil propuštati veću ili manju količinu medija. Time je ujedno i jasno samo po sebi, da pozicioner služi samo u svrhu regulacije određenog parametra (protok, tlak, temperatura), dok za izolacijsku funkciju nije potreban. Najčešće korišten tip pozicionera je elektro-pneumatski (Bailey, Fisher), u kojemu se električni signal, u rasponu od 4 – 20 mA, mijenja u željeni tlak (6 - 30 psig). Danas ga sve više istiskuje digitalni tip, koji se pokazao pouzdanim u otežanim radnim uvjetima (vibracije).

Kad se govori o izolacijskoj funkciji ventila, tada u igru ulazi solenoidni ventil, koji poznaje samo dva položaja – 0 i 1, dakle ili otvoreno ili zatvoreno.

Regulator tlaka služi za kontrolu veličine ulaznog tlaka instrumentacijskog zraka u pozicioner, ili solenoidni ventil, sprečavajući eventualna oštećenja u slučaju da instrumentacija bude izložena tlaku većem od propisanog.

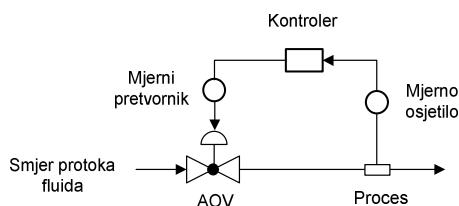
Tlak u sustavu zraka za instrumentaciju uvijek je viši od onog propisanog od strane proizvođača pojedinih dijelova ventila i instrumentacije (pozicioner, dijafragma), tako da regulatorom tlaka određujemo koliki može biti maksimalni dozvoljeni tlak koji će djelovati na ventil.

Graničnik kretanja (*limit switch*) električni je uređaj koji sprečava dulji hod ventila od onog zahtijevanog radnim uvjetima.

6.1.4 Upravljački sustav AOV-a

6.1.4.1 Regulacijski krug

Danas govoriti o problematici zračno upravljanih ventila a ne spomenuti niti voditi računa o njegovom regulacijskom krugu (kontrolnoj petlji) nije moguće, a niti preporučljivo. Na idućoj je slici prikazana pojednostavljena shema kontrolne petlje (regulacijskog kruga) kontrolnog ventila.



Slika 6.5 Regulacijski krug kontrolnog ventila

Osnovni sastavni dijelovi regulacijskog kruga spomenuti su u prethodnom poglavlju o pomoćnoj opremi, a to su pozicioner (određuje traženu poziciju ventila pri kontroli protoka medija) i mjerni pretvornik (*I/P transducer*), koji pretvara električni signal (4 - 20 mA) u pneumatski. Ovdje nije namjera upuštati se u detaljne opise i analize ovih komponenti, već samo istaknuti njihov značaj za pravilno funkcioniranje AOV-a. U slučaju kvara ovih komponenti, one se ne popravljaju, već se u potpunosti zamjenjuju novima.

Evaluacija performansi kontrolnog kruga AOV-a (slika 6.5) te njegova optimizacija, znatno pridonosi sigurnosti i efikasnosti, kako samog AOV-a, tako i elektrane u cjelini.

Prosječna NE ima nekoliko tisuća takovih petlji (ne samo na AOV) tako da je praktički nemoguće sve njih ispitati i analizirati. Međutim, korisno je izabrati one kontrolne ventile koji su po svojoj funkciji i sigurnosnoj ulozi proglašeni kritičnima, tj. kategorizirani prema dijagramu na slici 6.7.

Nakon detaljne analize i evaluacije performansi tako odabranih kontrolnih krugova, neophodno je izvršiti analizu osnovnih uzroka (*root cause*) njihovih eventualnih slabijih performansi, te raditi na tome da se u potpunosti uklone ili barem reduciraju.

Danas se ovakve evaluacije i analize obavljaju putem računalnih programa, od kojih je vjerojatno najpoznatiji MATLAB, unutar kojeg se kreiraju ovakvi krugovi sa svojim prijenosnim funkcijama, te se izvode simulacije koje ukazuju na mjesta u petlji gdje je došlo do pojave problema.

Jedan od osnovnih uzroka oscilatornog ponašanja regulacijskog kruga AOV-a je i tzv. statičko trenje (*stiction*), koje se javlja pri otvaranju ventila, kada dolazi do povećanog trenja između vretena i brtvenog paketa, čime je otežano otvaranje ventila. Dakle, izvor problema nije u samoj petlji već je izazvan posredno, nastankom u tijelu ventila, što dalje ima za posljedicu slabiju mogućnost kontrole ventila u cjelini.

S obzirom da su pozicioner i I/P pretvornik komponente koje se sastoje od osjetljivih mehaničkih i elektroničkih dijelova, te kao takve osjetljive na radne uvjete gdje dolazi to vibracija, povećane temperature i tlaka, na njih otpada i najveći postotak kvarova.

Osim toga, dijagnostičkim se testiranjem kontrolnih ventila vrlo lako da provjeriti da li su pozicioner i pretvornik ispravno kalibrirani.

Danas je sve više u upotrebi digitalni pozicioner, prilagođen za rad i u najtežim uvjetima, koji se pokazao izvanredno otpornim na vibracije pa i na temperaturne oscilacije, što je izuzetno bitno za siguran i pouzdan rad kritičnih AOV-a koji moraju izvršavati svoju funkciju i u otežanim uvjetima.

6.1.4.2 Sustav instrumentacijskog zraka

U NE krško postoje dva odvojena sustava komprimiranog zraka i to:

- instrumentacijski zrak
- opskrbni zrak.

Sustav instrumentacijskog zraka opskrbljuje kontrolne ventile zrakom pod tlakom, i to čistim, suhim zrakom, bez ikakvih primjesa ulja, kondenzata ili krutih nečistoća. Značaj sustava instrumentacijskog zraka je iznimno veliki, s obzirom da pad tlaka u ovom sustavu dovodi do zaustavljanja elektrane.

Zrak pod tlakom proizvodi 1 dvostepeni klipni kompresor koji zrak šalje u rezervoar zraka, u kojemu je maksimalni dozvoljeni tlak $9,5 \text{ kp/cm}^2$ (135 psi). U pričuvi su dva jednostepena kompresora koji se automatski uključuju u slučaju pada tlaka u sustavu na 7 kp/cm^2 .

Pri normalnom radu, motor kompresora se ne isključuje, dok kompresor radi i u opterećenom i neopterećenom stanju te daje tlak na izlazu između 7,5 i 8 kp/cm². [27]

Značaj sustava instrumentacijskog zraka u dobavi čistog, nekontaminiranog zraka, dakle zraka pod tlakom bez nečistoća poput ulja i vode te smeća, prašine i drugih tvari, došao je do izražaja prilikom akcidenta u američkoj NE Three Mile Island, 1979. godine, kada jedan od kritičnih AOV-a nije mogao izvršiti svoju funkciju upravo zbog kontaminiranog zraka, što je bio problem koji je inicirao daljnje događaje te doveo do evakuacije okolnog stanovništva i zatvaranja elektrane, a što je nasreću prošlo bez težih posljedica.

Taj je događaj doveo do povećane brige oko sustava instrumentacijskog zraka te je NRC (*Nuclear Regulatory Commission*) izdao *Generic Letter* pod nazivom INSTRUMENT AIR SUPPLY SYSTEM PROBLEMS AFFECTING SAFETY-RELATED EQUIPMENT, u kojemu se naglašava potreba redovne provjere te verifikacije ispravnosti sustava zraka pod tlakom, što podrazumijeva opremu, cjevovode i mjerne instrumente, kao i čistoću samog zraka. U njemu se također, naglašava i potreba za unapređenjem održavanja ovog sustava te verifikacija kvalitete njihovih aktivnosti.

6.1.5 Koncept održavanja AOV-a

Cilj održavanja opreme u nuklearnim elektranama je da se omogući operaterima da koriste sve funkcije neophodne za sigurnu i pouzdanu proizvodnju električne energije, održavajući te funkcije maksimalno raspoloživima i pouzdanima. Održavanje postrojenja pri tome mora uključivati dva aspekta, sigurnosni i ekonomski. Aktivnosti održavanja koje se izvode na sigurnosnim sustavima te na sigurnosnoj opremi, ima najveći prioritet te potpadaju pod nuklearnu regulativu.

Aktivnosti održavanja u NEK-u izvode se većim dijelom za vrijeme redovitoga remonta, dok se tijekom redovnog rada NEK-a aktivnosti održavanja izvode na ventilima koji se mogu izolirati unutar pripadajućeg sustava te se izuzeti iz rada.

Plan održavanja AOV-a u NEK-u razrađen je u skladu s općim održavanjem opreme (slika 2.5, str. 31). Dijagnostičko testiranje, u okviru strategije održavanja po stanju, provodi se na samo 10 ventila, mada je prema kategorizaciji u skladu sa JOG AOV programom za ovaj tip održavanja predviđeno 77 ventila.

Većina aktivnosti održavanja odvija se na temelju preventivnoga programa (interni dokument NEK-a oznake **ADP-1.4.170**), dok se korektivne aktivnosti izvode samo u slučaju otkazivanja opreme. U skladu s navedenim dokumentom, aktivnosti koje su predviđene za AOV su sljedeće:

- Preventivno održavanje
- Prediktivno održavanje
- AOV provjera
- Remont AOV
- Zamjena dijafragme
- Vizualni pregledi.

Prediktivno održavanje definira se na sljedeći način: *Prediktivno održavanje je kontinuirano ili povremeno praćenje i nadzor stanja te mjerenje parametara, s ciljem utvrđivanja njihovog trenda (kretanja) i stanja opreme, koji bi služili kao podloga za planiranje aktivnosti održavanja prije nastanka kvara, kao reakcija na degradaciju parametara komponenti. U tu skupinu spadaju aktivnosti poput AOV provjere, nadzornih testiranja i vizualnih pregleda.*

Pod aktivnosti **AOV provjera**, u NEK-u se podrazumijeva sljedeće: *AOV provjera je prediktivna aktivnost koja za cilj ima utvrđivanje stanja AOV-a. Kod ovog je testa potrebno provesti kompletno zatvaranje i otvaranje ventila. Signali, dobiveni ovim testom, snimaju se za kasnije analize. U slučaju da analiza dobivenih rezultata ne ukazuje na probleme u radu ventila, nije potrebno izvoditi mehanički zahvat na samoj opremi.*

Aktivnost **Vizualni pregled** obuhvaća sljedeće: *Vizualni pregled se izvodi svaka tri mjeseca i obuhvaća sljedeće preglede i aktivnosti:*

- *traženje i otklanjanje oštećenih, olabavljenih ili nedostajućih dijelova*
- *kontrola curenja medija kroz brtve vretena te na kućištu ventila i aktuatora*
- *čišćenje ventila i aktuatora.*

6.2 Program gospodarenja zračno upravljanim ventilima

Za svaki tip opreme koji igra bitnu ulogu za sigurnost nuklearne elektrane, i to prvenstveno opreme koja je ocijenjena kritičnom, izrađuje se poseban program, ili drugim riječima projekt, sastavljen od određenog broja ključnih elemenata ili faza, koje se zatim

implementiraju u postojeće procese elektrane. Takav je projekt, sastavljen od 9 ključnih elemenata, predložen od strane ranije spomenutog JOG-a (*Joint Owners Group*) u obliku dokumenta nazvanog *JOG AOV Program*, kao pomoć pri razvoju i implementaciji efikasnog AOV Programa u nuklearnim elektranama.

Osnovna namjena i cilj pri razvoju tog programa, bilo je definirati zahtjeve procesa nuklearnih elektrana koji se postavljaju na kritične AOV, kako bi im se osiguralo da budu u stanju izvršavati zadanu funkciju sigurno i pouzdano. S obzirom da se došlo do zaključka da postoji nekoliko metoda provođenja AOV programa, odlučeno je da sljedećih 9 ključnih elemenata (faza projekta implementacije) budu integralni i nerazdvojni dio svakog od njih.

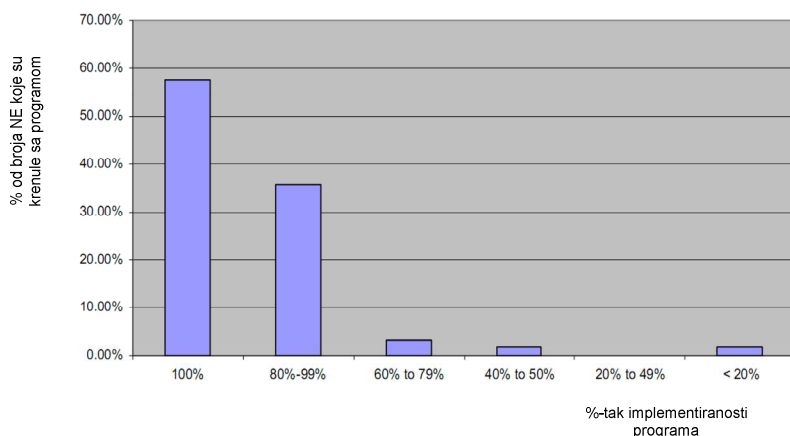
Ti su elementi sljedeći: [28]

1. Područje primjene i kategorizacija (*Scope and Categorization*)
2. Kontrola ključnih parametara (*Set-point control*)
3. Kontrola funkcionalnosti ventila (*Design Basis Review*)
4. Testiranje (*Post maintenance testing*)
5. Preventivno održavanje (*Preventive Maintenance*)
6. Stručno usavršavanje (*Training*)
7. Povratne informacije (*Feedback/Good practice*)
8. Upravljanje podacima i dokumentacijom (*Data Management*)
9. Praćenje performansi AOV-a (*Tracking and Trending*).

Za svaki se od ovih elemenata vidi da nije konačan, tj. da se aktivnosti unutar svakog od ovih područja izvode kontinuirano tijekom cijelog radnog vijeka svakog pojedinog AOV-a.

Osim toga, iz ovih je 9 ključnih elemenata AOV programa vidljivo koliko su pažnju stručnjaci posvetili samom području održavanja.

Ovaj je program prvotno nastao u SAD-u te se počelo s implementacijom u njihovim NE, i to u njih 56, tako da je do danas u potpunosti implementiran u tek 30 NE, dakle nešto manje od 60%, kako se vidi na dijagramu na slici 6.6 [29]. Ovo je istraživanje provela organizacija *Air-operated Valves Users Group*, 2008. godine., koja okuplja stručnjake iz područja održavanja kontrolnih ventila širom svijeta.

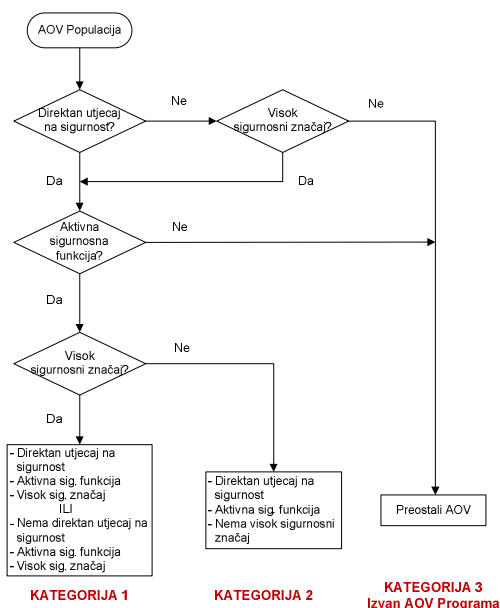


Slika 6.6 %-tak implementiranosti AOV programa u NE u SAD-u

6.2.1 Kategorizacija AOV-a

Izuzetno je bitno, na samom početku rada na AOV programu, izvršiti kvalitetnu kategorizaciju AOV-a s ciljem određivanja stupnja kritičnosti AOV-a bitnih za sigurnost nuklearke, te se ujedno i daje prioritet onim AOV-ima koji imaju direktan utjecaj na siguran i pouzdan rad NE. Potrebno je napomenuti da populaciju AOV-a u NEK-u sačinjava 821 ventil koje je, prema JOG AOV programu, potrebno podijeliti na tri kategorije kritičnosti, ovisno o njihovom utjecaju na sigurnost. Pri tome bi samo prve dvije kategorije kritičnih AOV-a ušle u područje obuhvaćeno AOV programom.

Na dijagramu, slika 6.7, [28] prikazani su osnovni koraci pri podjeli AOV-a na kategorije, koji međutim, u sebi kriju detaljne analize kritičnosti opreme, tzv. *Risk Ranking Analysis*, koje se temelje na PSA analizama (*Probabilistic Safety Assessment*), a unutar kojih se rade detaljni proračuni koji kao rezultat daju egzaktno veličine koje nam pokazuju da li je pojedini ventil (ili neki drugi tip opreme) kritičan i u kojoj mjeri.



Slika 6.7 Princip kategorizacije AOV-a

Kategorizacija AOV-a, izvršena po principu prikazanom na slici 6.7, iznjedrila je populaciju od ukupno 77 kritičnih ventila, koji su obuhvaćeni kategorijama 1 i 2, pri čemu u kategoriju 1 ulazi 72 ventila a u kategoriju 2 preostalih 5 AOV-a. Izvan AOV programa ostalo je 744 AOV-a, koji ulaze u planove osnovnog održavanja, dakle osnovno preventivno održavanje, koje podrazumijeva vizualne kontrole, čišćenje, nadzor, ISI (*In Service Inspection*), zamjene dijelova, manji popravci, i sl.

6.2.2 Kontrola ključnih parametara

Kontrola ključnih parametara AOV-a neophodna je ukoliko ti parametri utječu na sigurnosnu funkciju samog ventila. Kao minimum, parametri koji se moraju kontrolirati i održavati u traženim granicama te dokumentirati kao dio plana kontrole specifičnih parametara NE, jesu:

- tlak u aktuatoru (*actuator pressure*)
- predopterećenje opruge (*bench-set*)
- duljina hoda pladnja ventila (*valve travel*).

6.2.3 Kontrola funkcionalnosti AOV-a

Kontrola funkcionalnosti ventila (*Design Basis Review*) predstavlja proračunske metode kojima se kvantificira sposobnost ventila da vrši svoju sigurnosnu i radnu funkciju. Ono što je zajedničko svim nuklearnim elektranama je to da se svi proračuni rade maksimalno konzervativno, što drugim riječima znači da se provjerava može li ventil ispunjavati svoju funkciju i pod najtežim mogućim uvjetima (*Worst Case Scenario*). Pri tome se uzimaju u obzir uvjeti koji bi doveli do akcidenta koji se pod svaku cijenu želi izbjeći (gubitak rashladnog sredstva, taljenje jezgre).

Proračuni ove vrste daju nepobitne informacije o tome može li pojedini ventil ostvariti svoju sigurnosnu funkciju ili ne, te kolike su margine u odnosu na pretpostavljene najteže radne uvjete.

Što su naše margine veće, to pozitivnije utječu na pouzdanost našeg ventila, jer sama definicija pouzdanosti kaže da je to vjerojatnost da će ventil izvršavati željenu funkciju željeni period vremena. Veće margine ukazuju i na dulji period rada bez prekida, što automatski doprinosi i pouzdanosti ventila u radu.

Podloge za proračune dane su od strane američkog EPRI (*Electric Power Research Institute*) pod nazivom *Air-operated Valve Evaluation Guide*, koje su prihvaćene i koriste se u nuklearnim elektranama širom svijeta.

6.2.4 Testiranje AOV-a

Testiranje AOV-a provodi se s ciljem verifikacije sposobnosti ventila da vrši svoju funkciju te validaciju dizajna ventila. Sva testiranja vrše se u skladu sa procedurama NE te kriterijima prihvatljivosti za svaki od tipova testiranja. Tipovi testiranja AOV-a su sljedeći:

- temeljni test funkcionalnosti (*Baseline testing*),
- periodički test,
- test nakon održavanja (*post-maintenance testing*).

Temeljni test se provodi s namjerom da se verificira funkcionalna sposobnost ventila te svojstva ventila u skladu s njegovim dizajniranim parametrima, potvrde ključni parametri te utvrde reference za periodičko testiranje.

Ovo je, zapravo, dijagnostičko testiranje ventila moguće jedino korištenjem sofisticirane testne opreme. Danas, još uvijek, na žalost, temeljni test ne shvaćaju dovoljno ozbiljno te ga provode, više-manje, vizualno bez korištenja navedene opreme.

Ovaj se test provodi na AOV-ima iz kategorija 1 i 2 (slika 6.7).

6.2.5 Preventivno održavanje

Preventivno je održavanje aktivnost koju je obavezno provoditi za sve AOV obuhvaćene ovim programom (sve 3 kategorije), kako bi se osigurao visok nivo povjerenja da će AOV-i izvršavati zahtijevanu funkciju. Sigurnosni značaj, radni vijek te okruženje moraju se uzeti u obzir pri određivanju aktivnosti preventivnog održavanja i njihove frekvencije.

6.2.6 Stručno usavršavanje

Ova faza projekta predstavlja jednu od kritičnih aktivnosti AOV programa. Industrijska praksa pokazuje da je kvalitetna obuka članova AOV tima za implementaciju programa izuzetno efikasna. Svaka nuklearna elektrana odgovorna je za organizaciju i provođenje ovakvih obuka te dokumentiranje određenih kvalifikacija za specifične zadatke u okviru AOV programa.

6.2.7 Povratne informacije

Dva su osnovna tipa povratnih informacija:

- specifične informacije NE
- opće informacije

Specifične informacije osiguravaju da su iskustva u radu, testiranju i održavanju prikladno implementirana u ostale programe NE.

Opće su informacije bitne kako bi se osiguralo da uočeni problemi budu evaluirani za uključivanje u ostale programe NE. Opće informacije o uočenim problemima namijenjene su i dijeljenju s ostalim NE u svijetu kao dio zajedničke svjetske baze podataka, pri čemu bi postojeći problemi bili svima dostupni na uvid.

6.2.8 Upravljanje dokumentima

Svaka NE mora samostalno razviti metodu kontrole i upravljanja dokumentima, u skladu s već postojećom praksom. Korištenje elektronskih baza podataka izuzetno je korisno i poželjno za brzo i jednostavno pohranjivanje i pretraživanje podataka.

6.2.9 Praćenje performansi AOV-a

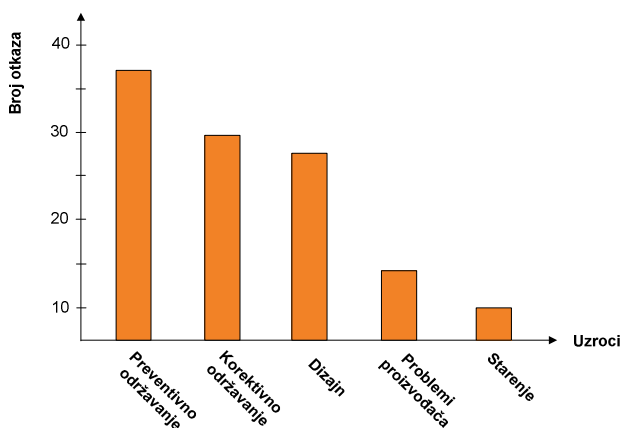
Svaka NE mora pratiti trend pojave kvarova na AOV-ima za sve ventile obuhvaćene ovim programom. Osim toga, kritične parametre dobivene dijagnostičkim testiranjem mora se pratiti i to za sve AOV iz kategorije 1. Primjer kritičnih parametara: vrijeme hoda ventila, trenje, tlakovi, predopterećenje opruge, silu nasjedanja, te faktor trenja (ako je dinamički testirano).

7 Unapređenje održavanja zračno upravljanih ventila

7.1 Utjecaj AOV-a na performanse NE

Ispravno funkcioniranje kontrolnih ventila predstavlja kritični faktor prilikom maksimiziranja performansi energetskih postrojenja. Rad kontrolnih ventila koji nije optimalan, tj. čiji su parametri (hod ventila, trenje u brtvenom setu, predopterećenje opruge, pozicioner i I/P pretvornik izvan kalibracije) izvan dozvoljenih granica, znatno utječe na efikasan rad elektrane te kvalitetu performansi njenih pojedinih dijelova.

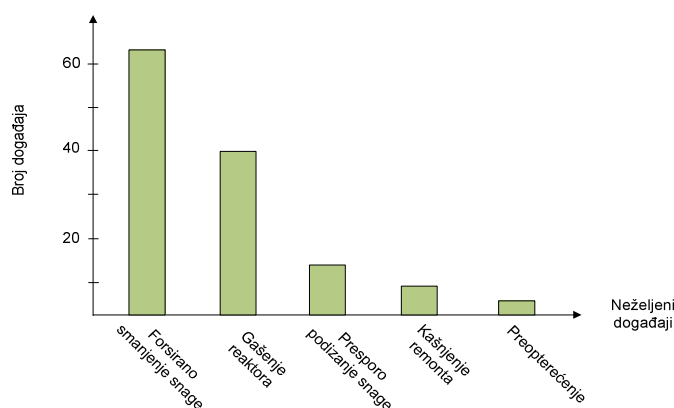
Vodeći uzroci problema koji se javljaju na kontrolnim ventilima danas su, osim izbora neodgovarajućeg ventila i to obično predimenzioniranog, i loša praksa održavanja i to kako korektivnog tako i preventivnog, kako se vidi na dijagramu 7.1. Do ovih se podataka došlo višegodišnjim praćenjem aktivnosti vezanih za same kontrolne ventile te analizom njihovih performansi i to na nekoliko stotina ventila u 76 NE u SAD-u. [30]



Slika 7.1 Najčešći uzroci otkaza AOV-a

Iskustvo i praksa iz elektrana širom svijeta pokazuju da eliminiranje problema vezanih uz korištenje kontrolnih ventila nudi najbrži i najefikasniji način poboljšanja efikasnosti elektrane u cjelini.

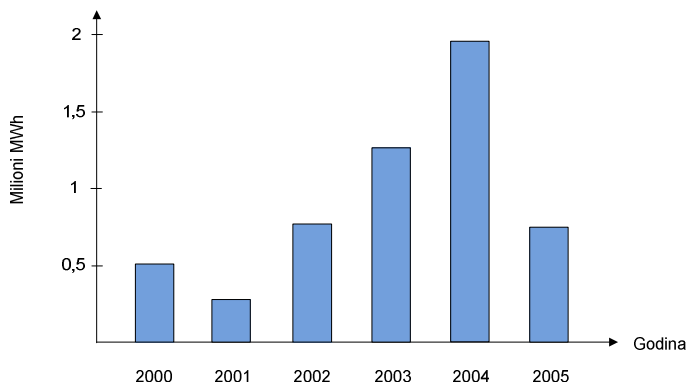
Staro je pravilo da je svaki lanac jak onoliko koliko je jaka njegova najslabija karika, a najslabiju kariku u kontrolnoj petlji predstavlja finalni element, sam kontrolni ventil (misli se na sklop aktuatora i tijela ventila bez pomoćne opreme), te kao takav svojim performansama vrši direktan utjecaj na funkcioniranje elektrane i to na pojavu neželjenih devijacija snage te maksimalnog kapaciteta izraženog u MW proizvedene električne energije, toplinskog kapaciteta reaktora, brzine porasta energije prilikom startanja elektrane (MW/sat), a također igra i izuzetno veliku ulogu svojim utjecajem na pouzdanost i raspoloživost kako pojedinih sustava tako i elektrane u cjelini. Na dijagramu (slika 7.2, [30]) može se vidjeti u kojoj mjeri i na koji način kontrolni ventili utječu na snagu NE.



Slika 7.2 Utjecaj kvarova AOV-a na devijacije snage

Optimizacija performansi kontrolnih ventila provedena u nekoliko nuklearnih elektrana u SAD-u, doprinijela je u znatnoj mjeri povećanju snage elektrana na izlazu, izraženih u MW (megavati), a koji su iznosili od 6 MW pa čak do 35 MW. [31]

Na slici 7.3. [30] vidljiv je utjecaj performansi kontrolnih ventila na gubitke snage NE, pri čemu se ti gubici mjere u milijunima MW sati tijekom nekoliko godina praćenja utjecaja kontrolnih ventila na performanse NE. Kod nuklearnih elektrana, a također i konvencionalnih, koje previđaju ovakve probleme, ili znaju za njih ali ništa ne poduzimaju, uočena je slabija pouzdanost opreme i postrojenja, veća učestalost gašenja pojedinih jedinica, pa čak i samog reaktora, pad maksimalnog kapaciteta, povećanje operativnih troškova te troškova održavanja.



Slika 7.3 Gubici snage NE uzrokovani slabim performansama AOV-a

7.2 Kriteriji izbora odgovarajućeg AOV-a

Kontrolni ventili tek zadnjih nekoliko godina počinju igrati glavnu ulogu u stalnim naporima za povećanjem profitabilnosti procesnih postrojenja te što efikasnijoj proizvodnji električne energije. Ispravan izbor ovih ventila ima znatan utjecaj na troškove održavanja, ukupne troškove te na kvalitetu kontrole samih procesa. S obzirom na veliki broj tipova kontrolnih ventila te opcije odabira, selekcija odgovarajućeg ventila mogla bi se činiti veoma kompliciranim i nezahvalnim poslom. Sam postupak izbora odgovarajućeg ventila može se pojednostavniti na način da inženjeri koji rade taj posao budu temeljito upoznati sa svojstvima medija koji protiče kroz ventil, zahtjevima pogona te funkcijom pojedinog ventila. Kako bi se suzio izbor, inženjeri moraju shvatiti na koji način opće karakteristike svakog tipa ventila odgovaraju zahtjevima koji se postavljaju na dizajn ventila. Osim toga, sami proizvođači ventila imaju svoje vlastite zahtjeve na dizajn ventila, koji su, zapravo, modifikacije pet osnovnih tipova ventila (zasuni, s pladnjem, kuglasti, leptir i dijafragma ventili), u kombinaciji s jednim od dva tipa aktuatora - cilindar s i bez opruge te dijafragma aktuator. Prije samog početka razmatranja tipa i dizajna kontrolnih ventila za određenu namjenu unutar nuklearne elektrane, stručnjaci koji će se baviti selekcijom kontrolnih ventila moraju imati na raspolaganju sljedeće informacije:

- protok
- radnu temperaturu

- radni tlak
- pad tlaka kroz ventil
- vrstu fluida
- svojstva fluida
- ambijentalne uvjete.

Da bi bio efikasan zračno-upravljeni ventil mora reagirati trenutno na svaku promjenu signala te biti sposoban vršiti svoju funkciju pod različitim radnim uvjetima, tj. biti sposoban podnositi promjenu radnih parametara (protok, tlak), dakle biti dimenzioniran tako da izdrži velike padove tlaka, precizno odgovoriti na svaki signal unutar njegovog radnog područja, imati što brži odziv, otvarati i zatvarati traženom brzinom te kontrolirati protok fluida.

Također, kod sustava gdje su radni uvjeti takovi da zahtijevaju precizan odziv te u slučajevima kada je neophodno nadvladati efekte povećanog statičkog trenja te poboljšati nasjedanje pladnja, tj. onemogućiti bilo kakvo puštanje ventila u zatvorenom položaju, bit će neophodno na ventil ugraditi pozicioner kako bi poboljšali performanse samog ventila te kontrolabilnost i preciznost. Osim toga, ukoliko se ventil nalazi u ambijentu gdje se očekuju povećane vibracije, tada će idealno rješenje predstavljati izbor digitalnog pozicionera.

Isto tako, postavlja se problem izbora odgovarajućeg aktuatora o čemu ovisi sposobnost ventila da kontrolira protok fluida. Ključni elementi pri izboru odgovarajućeg aktuatora, tj. odgovarajuće kombinacije ventil/aktuator, uključuju:[32]

- potrebu pogona - izolacijski ili kontrolni
- izvor energije - el. energija ili zrak/dušik
- zahtjevi stabilnosti kontrolnog kruga
- zahtjevi za potrebnim opterećenjem (sila, tlak, moment)
- veličina i težina
- sigurnosni zahtjevi (*fail close/fail open*)
- radna okolina (temperatura, vibracije, tlak)
- zahtjevi za elektroničke komponente (pozicioner, pretvornik)
- pogodnost za održavanje (*maintainability*)
- ekonomski faktori (početni troškovi, troškovi održavanja).

S obzirom na ekonomsku situaciju zadnjih nekoliko godina te na sve veću brigu o troškovima i financijskoj situaciji nuklearnih elektrana, a s rastućom svijesti o značaju AOV-a za ukupnu dobit NE te isto tako i njihov značaj za ukupnom uštedom, došlo se do zaključka da ključ problema leži u pravilnom odabiru odgovarajućih AOV-a te da se taj posao ne smije prepustiti slučajnosti već da ga trebaju preuzeti stručnjaci, prvenstveno stručnjaci održavanja, koji će značaj i funkciju ovih ventila, kao i potrebe pogona i sigurnosti, znati iskoristiti pri kvalitetnom odabiru svakog ventila ponaosob. Isto tako, NE moraju izbjegavati donošenje odluka o izboru AOV-a na temelju njihove nabavne cijene već se to radi na osnovu procjene ukupnih troškova tijekom njihovog radnog vijeka.

Sljedeći kriteriji odabira morali bi poslužiti kao smjernice za nabavu onih AOV-a koji će osim na efikasnost i sigurnost, utjecati i na smanjenje troškova održavanja te ukupnih troškova: [33]

1.) Jednostavan i kvalitetan ventil pogodan za održavanje

Dosadašnje procjene govore da više od 70% ukupnih troškova pojedinog AOV-a otpada na njegovo održavanje. Oni AOV-i koji mogu biti brzo i jednostavno servisirani pridonose smanjenju troškova pogotovo kod neplaniranih zastoja. Kod njih je izuzetno bitno da budu maksimalno pogodni za održavanje, što podrazumijeva lak pristup te brzu zamjenu dijelova. Također, smanjenju nepotrebnih troškova pridonosi i uklanjanje potrebe za specijalnom opremom i visoko-stručnim radnicima.

Osim toga, minimiziranjem vremena provedenog na popravku i servisiranju pojedinog AOV-a, smanjuje se i potreba za troškovima prekovremenih sati te unajmljivanjem vanjskih izvođača.

2.) Jednostavne procedure održavanja

Jednostavnim se procedurama održavanja ne smanjuje samo troškove obuke osoblja održavanja već se, također, i osigurava da će ventil biti sigurno vraćen u radno stanje. Komplicirane procedure nose i povećani rizik od pogrešaka pri zahvatima održavanja te samim time i slabiju efikasnost ventila.

3.) Dulji intervali održavanja

NE koja kupuje AOV očekuje da će taj ventil raditi pouzdano nekoliko godina bez većih zahvata popravljanja ili rastavljanja. To je moguće postići odabirom ventila za specifične uvjete rada, s materijalom i dizajnom vretena, pladnja, kaveza i sjedišta ventila, koji će

osigurati dugotrajan rad bez znatnijeg trošenja, uz istovremenu kontrolu protoka medija te kavitacije i vibracija.

4.) Prilagodljivost ventila promjeni radnih uvjeta

To je aktivnost koja se ne dešava tako često, ali postoji mogućnost da se to desi, što bi dovelo do potrebe za novim tipom ventila. AOV mora biti prilagođen i takovim zahtjevima, i to, u prvom redu, svojim dizajnom (modularni dizajn). Osim toga, bitno je osigurati međuzamjenjivost dijelova, što znatno smanjuje troškove i vrijeme izvan upotrebe.

5.) Osiguranje precizne kontrole regulacijskog kruga

Precizna kontrola regulacijskog kruga izuzetno je bitna za efikasan i siguran rad ventila pri kontroli procesa NE u svim radnim uvjetima. Korištenje pozicionera, i to digitalnog tipa, pruža mogućnost pouzdane i precizne kontrole protoka medija čime se znatno pridonosi većoj produktivnosti ventila te elektrane u cjelini. Time se smanjuje nepotreban dulji hod vretena a time i trošenje unutarnjih dijelova, te istovremeno i trošenje instrumentacijskog zraka za pokretanje AOV-a, što sve vodi k manjim troškovima, duljem vijeku trajanja te manjem udjelu održavanja.

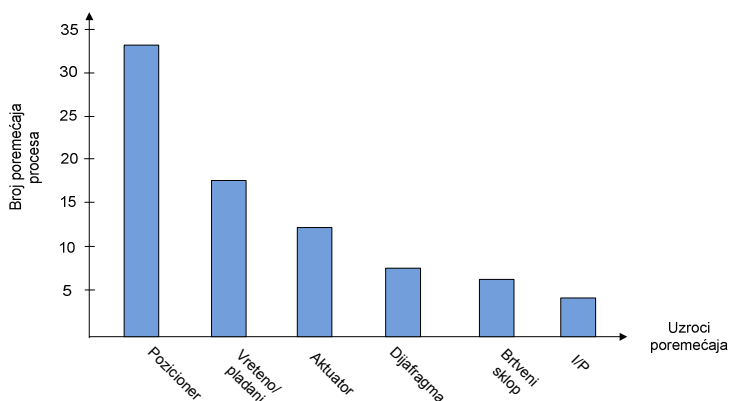
6.) Kvalitetna tehnička podrška

Uvijek je korisno poznavati nivo tehničke potpore koju pruža proizvođač (dobavljač) opreme. Ono što se od njih mora tražiti to je kratko vrijeme isporuke, mogućnost brze zamjene ventila u slučaju većeg kvara čime se smanjuje potreba držanja na skladištu, kompletna tehnička dokumentacija sa svim nacrtima te savjetima u vezi montaže i održavanja.

7.3 Analiza i evaluacija performansi AOV-a

Upravo zbog značaja koji imaju pri regulaciji procesa NE te utjecaja na njezinu efikasnost, evaluacija performansi AOV-a morala bi biti integralni, nedjeljivi dio svakog programa poboljšanja performansi nuklearne elektrane (*Plant betterment program*), s obzirom na to da je osnovni cilj takvih napora poboljšanje efikasnosti elektrane u cjelini te smanjenje, kako troškova održavanja tako i ukupnih troškova. No, što je veoma indikativno, i to, na žalost, u onom negativnom smislu, je to da čak i oni AOV-i koji su korišteni u otežanim radnim uvjetima, kako pogonskim tako i ambijentalnim te koji su proglašeni kritičnima za rad elektrane, nisu uzimani u obzir pri kreiranju programa poboljšanja performansi NE.

Slika 7.4 daje pregled uočenih frekvencija pojave kvarova na komponentama AOV-a, praćenih tijekom 6 godina u 74 NE u SAD-u. [30]



Slika 7.4 Frekvencija pojave kvara po komponentama AOV-a

Pozicioner, kao izuzetno bitna komponenta za precizno pozicioniranje ventila te time i preciznu kontrolu procesa, pokazao se izuzetno osjetljivim na radne i ambijentalne uvjete. To je potaknulo određeni broj NE, nažalost vrlo mali broj, na prelazak na digitalne pozicionere koji su se pokazali znatno pouzdanijima u radu.

Osim već navedenih dobiti za nuklearne elektrane, dakle poboljšanje toplinske snage te ukupne efikasnosti, rješavanjem problema vezanih za AOV također se uspjelo učiniti i sljedeće: [34]

- ukloniti prepreke za nesmetan dulji rad NE čime se ujedno i povećao interval između 2 remonta
- reducirati aktivnosti održavanja tijekom remonta (skraćenje trajanja remonta)
- dobiti mogućnost unapređenja tehničkih sustava i procesa.

Obaveza je svake NE da analizira i evaluira performanse kontrolnih ventila kao i kvarove i njihove uzroke, a u sklopu plana poboljšanja elektrane u cjelini.

Takvim se naporima doprinosi poboljšanju efikasnosti i pouzdanosti elektrane, dok se istovremeno pruža mogućnost unapređenja sustava uvođenjem moderne prakse praćenja stanja tehničkih sustava, tj. monitoringa, bilo da je on kontinuiran (*on-line*) ili periodičan.

Uglavnom se uzroci slabijih performansi kontrolnih ventila traže tamo gdje ih zapravo nema, a uz to na neprimjeren način, i to prvenstveno radi nepoznavanja osnovnih principa funkcioniranja i dizajna ventila. Činjenica je da se uzroci slabih performansi kriju u njegovim dimenzijama, dizajnu i karakteristikama, što posebno dolazi do izraza prilikom njihove pogrešne primjene. Slabe performanse kontrolnih ventila bitno utječu na njegovu sposobnost kontrole radnih procesa elektrane, što dovodi do neželjenih poremećaja i prijelaznih pojava kako unutar kontrolne petlje ventila, tako i samog procesa. Sposobnost ventila da utječe na smetnje u procesu ovisi o više faktora, poput: [26]

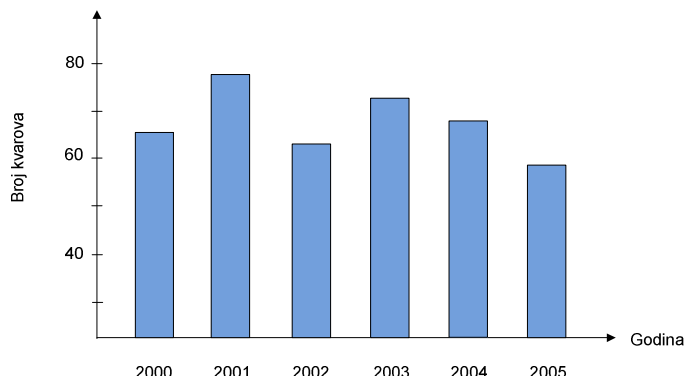
- neutralna zona, mrtvi pojas (*dead band*),
- dizajn aktuatora i pozicionera,
- vrijeme odziva ventila,
- tip i dimenzije ventila.

Od svih navedenih, kritičnim se pokazao *dead band*, koji nije nepoznat stručnjacima ovog područja te je dosta dugo predmet intenzivnog proučavanja i analiza, ali još uvijek se nije iznašao pravi način da ga se u potpunosti ukloni, pa čak ni približi nekoj idealnoj vrijednosti. *Dead band* predstavlja pojavu koja nastaje u trenutku promjene smjera kretanja ventila (zatvaranje → otvaranje i obratno), i izražava se u %-tcima.

U tom trenutku dolazi do gubitka kontrole ventila i to jedan kratki, ali bitan period vremena. Ta je pojava ublažena ugradnjom pozicionera i to sa 5% na skoro 1%, što i nije loše, s obzirom da se traži da bude manji od 1%, a u idealnom slučaju bio bi oko 0,25%. Čak i kod primjene digitalnog pozicionera primijećeno je da se *dead band* ne može izbjeći. Upravo ova karakteristika ventila ima najveći utjecaj na nestabilnost procesa, a kao osnovni uzroci mogu biti trenje, pozicioner, olabavljeni mehanički dijelovi (*backlash*) ili greška na vretenu. [26]

Osnovnim se uzrokom *dead banda* pokazalo trenje koje nastaje gibanjem vretena kroz brtveni paket. Takve se nedostatke najbolje može uočiti pri testiranju ventila kod dinamičkih uvjeta, dakle kad postoji protok medija kroz ventil. Treba napomenuti da se *dead band* ne može otkriti vizualnim kontrolama već samo uz upotrebu sofisticirane dijagnostičke opreme.

Slika 7.5 [30] pokazuje frekvenciju kvarova na kontrolnim ventilima praćenih u periodu od 6 godina u NE u SAD-u.



Slika 7.5 Frekvencije pojave kvara na AOV-ima

Tipični problemi koji također dovode do neželjenih posljedica, a mogu se ukloniti ili spriječiti kvalitetnijim održavanjem, boljom organizacijom posla te boljim razumijevanjem problematike AOV-a, jesu:

- istrošenost vretena, pladnja i kaveza ventila uslijed erozije
- slaba sposobnost potpunog zatvaranja, tj. propuštanja ventila radi neodgovarajuće sile zatvaranja koju mora proizvesti aktuator, istrošenog sjedišta te izostanka kalibracije ventila
- slab dinamički odziv ventila te problem kontrolabilnosti procesa.

7.4 Prijedlog unapređenja održavanja AOV-a

Kontrolni ventili, kako je već rečeno u prethodnim poglavljima a što se i prečesto zaboravlja, predstavljaju onaj konačni, finalni element koji svojim djelovanjem direktno, neposredno kontrolira procese nuklearne elektrane te time utječe i na njene krajnje performanse. Upravo ta njegova funkcija čini kontrolne ventile kritičnim faktorom te je neophodno kontinuirano raditi na optimizaciji njihovih performansi.

Industrijska praksa pokazuje da je jedini ispravan put do vrhunskih performansi AOV-a u prvom redu njegov **pravilan izbor**, dakle AOV odgovarajućih karakteristika u skladu sa zahtjevima procesa, kao i **ispravan pristup održavanju** AOV-a, s obzirom da je održavanje onaj faktor koji optimizaciju performansi svakog tehničkog sustava čini mogućom.

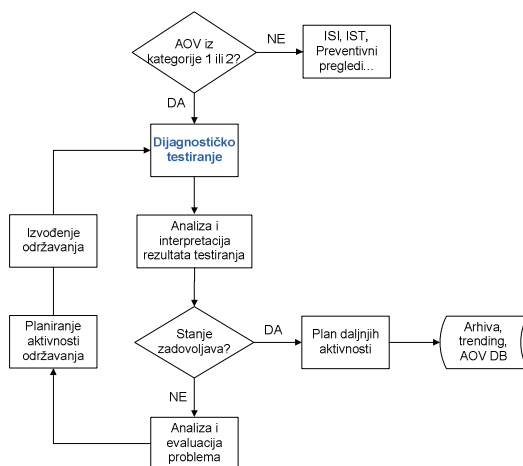
Zabrinjavajuća je činjenica da su osnovni uzroci kvarova na kontrolnim ventilima loša praksa održavanja, i to kako preventivnog tako i korektivnog. Upravo to mora biti motivacija stručnjacima održavanja da se konačno ozbiljno uhvate u koštac s tim problemom te iznađu prave putove unapređenja održavanja ovih ventila.

Kriteriji izbora odgovarajućeg AOV-a dani su u poglavlju 7.2, tako da će ovdje biti predložen način unapređenja održavanja AOV-a, kako bi se u potpunosti zaokružila tema postizanja i održanja optimalnih performansi AOV-a tijekom njihovog radnog vijeka.

7.4.1 Tehnička dijagnostika AOV-a

Zračno upravljani ventili igraju kritičnu ulogu u kontroli procesa nuklearnih elektrana. Neefikasan zračno upravljani ventil može dovesti do brojnih problema, od kojih su mnogi navedeni u prethodnim poglavljima. Osnovna svrha dijagnostičkog testiranja zračno upravljanih ventila je osiguranje efikasnog i pouzdanog upravljanja procesima.

Tehnička dijagnostika predstavlja utvrđivanje ponašanja nekog tehničkog sustava i to mjerenjem, obradom i detaljnim analiziranjem dobivenih veličina. Dijagnostičko testiranje AOV-a pruža korisniku mogućnost da testira, analizira, dijagnosticira probleme te na osnovu pouzdanih informacija dobivenih sofisticiranom opremom, predviđa nastanak kvara te intervale održavanja.



Slika 7.6 Pojednostavnjeni proces dijagnostike AOV-a

Primjene metoda tehničke dijagnostike do sada su doživljavale neuspjeh u prvom redu iz razloga nepoznavanja metoda, lošeg odabira uređaja (testne opreme), loše organizacije te nepoznavanja same problematike.

Rezultati testiranja pokazuju da se kontrolnim ventilima produljuje vijek trajanja te povećava efikasnost kada se testiraju i kalibriraju koristeći sofisticiranu testnu opremu. [36] Na osnovi tako dobivenih rezultata predviđa se daljnji razvoj, odnosno trend kretanja kritičnih parametara, te se u skladu s tim planiraju aktivnosti održavanja.

Dijagnostičko se testiranje kontrolnih ventila dokazalo kao pouzdano i efikasno sredstvo za utvrđivanje stanja i dijagnosticiranje kako postojećih tako i kvarova u nastajanju, koje je moguće rano uočiti i spriječiti da ne dovedu do neželjenih katastrofalnih posljedica. Ovaj je način praćenja stanja opreme u okviru prediktivnog održavanja, unatoč većim početnim ulaganjima u testnu opremu te obuku, općeprihvaćen u NE u svijetu a rezultati koji se njime postižu opravdali su sva očekivanja.

Prvi korak u postizanju efikasne dijagnostike stanja AOV-a, predstavlja kvalitetna edukacija, stručno osposobljavanje osoba određenih da rade na tim vrlo osjetljivim poslovima, koji zahtijevaju maksimalnu savjesnost i odgovornost. Što se zapravo misli pod terminom „kvalitetna edukacija“? Već se pokazalo da ljudi koji ne razumiju problematiku koju treba rješavati niti opremu samu te njenu funkciju, a k tome nisu niti motivirani za taj posao, predstavljaju najveću prepreku za postizanje kvalitetnih rezultata. Kvalitetnom edukacijom želi se staviti naglasak prvenstveno na pravilan odabir ljudi i tečajeva koje će pohađati. Osim toga, izuzetno je bitno odabrati pravu tvrtku koja tečajeve organizira, osigurati maksimalnu moguću potporu menadžmenta te svih uključenih u taj posao unutar same elektrane te ljudima omogućiti testiranje AOV-a i u periodu između dva remonta, bez obzira bilo ono statičko ili dinamičko.

Uz pretpostavku da je kvalitetna edukacija u potpunosti provedena, te da će se aktivnostima dijagnostike stanja ventila baviti isključivo stručni tim, dijagnostičko se testiranje AOV-a može podijeliti u nekoliko faza ili koraka, kako slijedi:

1. Pouzdano praćenje i čuvanje podataka

Ovaj je korak od vitalnog značaja za svaki program poboljšanja performansi AOV-a. Neophodno je, s ciljem praćenja trenda kretanja izlaznih parametara ventila, spremati podatke o svakom testiranju i popravku te dosadašnjim i trenutnim performansama ventila.

Najboljim rješenjem pokazali su se računalni sustavi, i to prvenstveno baze podataka, koje omogućuju lako i brzo pretraživanje, te prikupljanje podataka na jednom mjestu.

2. Otklanjanje postojećih problema

Prije bilo kakve druge aktivnosti, potrebno je ispraviti očigledne probleme i nedostatke, poput curenja zraka, neispravne pomoćne opreme, olabavljenih dijelova, i sl. Nakon toga se pokreće

testiranje kako bi se utvrdile veličine tri osnovna parametra:

- tlak I/P pretvornika
- tlak u aktuatoru
- dobavni tlak (regulator).

3. Kontrola pretvornika i pozicionera

Ovaj će korak uključiti provjeru kalibracije te ispravnog funkcioniranja I/P pretvornika i pozicionera. Za ispravno funkcioniranje ventila imperativ je ispravan i kalibriran pozicioner i I/P pretvornik, posebno u slučaju visokih tlakova te zahtjevnih radnih procesa.

4. Precizna kontrola hoda ventila

Hod ventila mjeri se preko pretvornika pomaka. Pretvornik mora biti pričvršćen za aktuator te spojen direktno na vreteno, ne na pozicioner ili neki drugi dio kako bi se moglo izmjeriti stvarni hod ventila.

5. Provjera i unos ispravnih ulaznih parametara

S ciljem što preciznijeg testiranja i usporedbe parametara, neophodno je u računalni testni program unijeti ispravne veličine parametara ventila poput predopterećenja opruge, raspona mjernog signala, promjera vretena, površine dijafragme, tipa i veličine ventila, hoda ventila, pozicije u slučaju gubitka tlaka, i sl. Ovdje se prikupljaju podaci od proizvođača ili podaci iz povijesnih radnih naloga ukoliko je u međuvremenu došlo do promjena pojedinih parametara.

6. Provesti "as-found" test

Ovim se testom utvrđuje zatečeno stanje ventila kako bi se dobili podaci o trenutnim performansama i parametrima. Evaluacija rezultata uputiti će na slaba mjesta i eventualnu potrebu za poduzimanjem određenih zahvata održavanja bilo da se radi o podešavanju, zamjeni dijelova ili popravku.

7. Popravak ventila po potrebi

Provođenje dijagnostičkog testiranja (*baseline testing*) omogućuje da se utvrdi opće stanje ventila te da se izvedu potrebni zahvati na licu mjesta ako je moguće, bez potrebe za demontažom i odvoženjem u radionu.

8. Finalna dijagnostika stanja ventila ("*as-left*")

Nakon provedenih aktivnosti održavanja neophodno je provesti test ispravnosti rada, tj. završno testiranje i kalibriranje. Ovim se testom daje potvrda funkcionalnosti ventila.

9. Praćenje parametara ("*trending*")

Praćenje trenda kretanja pojedinih parametara predstavlja primjer proaktivnog djelovanja, čime se procjenjuje sposobnost ventila da obavlja zadanu funkciju, tj. prati se izlaze li veličine kritičnih parametara izvan dozvoljenih granica. Na ovaj se način osigurava da se ventil neće otvarati bez razloga već da će se eventualni problemi uočiti na vrijeme te spriječiti veći kvarovi i dulje vrijeme u otkazu.

Dijagnostičkim se testiranjem dobiva kompletna slika o operabilnosti AOV-a, ili neke od njegovih komponenti, i to tako da se analizirani podaci uspoređuju sa definiranim nominalnim veličinama pojedinih radnih parametara, te se ovisno o tome donose odluke treba li dijagnosticiranu komponentu popravljati ili ne. Na ovaj se način može pratiti tendencija fizikalnih parametara tijekom vremena (*tracking and trending*), tj. da li osnovni parametri ostaju u zadanim granicama ili degradiraju s vremenom, te se nakon određenog broja dijagnostičkih mjerenja također odlučuje o tome može li AOV (ili neka njegova komponenta) i dalje vršiti nesmetano svoju funkciju ili je potrebno pokrenuti određenu aktivnost održavanja. Rano dijagnosticiranje problema te njihovo pravovremeno uklanjanje ne samo da smanjuje troškove održavanja već i sprečava pojavu većih kvarova čime se štedi i vrijeme eliminirajući potrebu za zaustavljanjem elektrane istražujući što i gdje nije u redu. To je posebice značajno za nuklearne elektrane s obzirom da bi pojava većih kvarova mogla dovesti do ispuštanja radioaktivnih tvari u okoliš te ugroziti život ljudi. Zadnja istraživanja pokazuju da oko 60% AOV-a ima problema u postizanju optimalnih performansi koji se mogu rano otkriti jedino korištenjem sofisticirane dijagnostičke opreme (monitoring).[36] Upravo taj podatak dovoljno govori o tome koliki je značaj dijagnostičkog testiranja za postizanje i održavanje pouzdanog i kontinuiranog rada elektrane.

Dijagnostičko se testiranje u NE Krško provodi testnom opremom UDS (*Universal Diagnostic System*) ili VIPER20 (slika 7.7) [39] američkog proizvođača CRANE Nuclear, koja predstavlja paket *hardware/software* (*DAM - Data Acquisition Module/SAM - Signature Analysis Module*), dakle testna oprema za prikupljanje podataka o parametrima ventila te program *SigSoft 5.0* instaliran na prijenosnom računalu, namijenjen njihovoj obradi i analizi.



Slika 7.7 CRANE Nuclear VIPER20 testna oprema

Da bi se željeni parametri mogli precizno mjeriti, tu su također i mjerni pretvornici pomaka, tlaka (dobavnog tlaka te tlaka u aktuator) i I/P signala (elektro/pneumatski signal), koji se moraju kalibrirati najmanje jednom godišnje. Ovi mjerni pretvornici također omogućuju da se precizno determiniraju i ostali bitni parametri za određivanje stanja kontrolnog ventila, a oni su sljedeći:

- predopterećenje opruge (*bench-set*)
- trenje (prosječno i maksimalno)
- odstupanja parametara (greške u %)
- sila zatvaranja
- sila aktuatora.

Dijagnostičko testiranje kontrolnih ventila, ukoliko se provodi redovno i kvalitetno, bez obzira bilo ono kontinuirano ili periodičko, osigurat će povećanje pouzdanosti te postizanje a također i održanje optimalnih performansi tijekom cijelog radnog vijeka ovih ventila.

Kontinuirani monitoring (*on-line*) danas je prisutan i u NE u svijetu, prvenstveno u SAD-u ali u još uvijek premalom broju, mada se dokazao kao izuzetno koristan te je postao nezamjenjiva metoda za praćenje parametara te rano dijagnosticiranje kvarova. Kao jedan od preduvjeta za kontinuirani monitoring zračno upravljanih ventila je i ugradnja digitalnog pozicionera što već u startu povećava troškove. S obzirom da dobar dio elektrana nije spreman na takav korak te da su zadovoljni postojećim sustavom periodičkog monitoringa nekom od opreme trenutno dostupne u svijetu (CRANE UDS, FLOWSCANNER, VALSCOPE, i dr.), *on-line* monitoring ovih ventila morat će pričekati bolja vremena.

Danas se računalni program koji je neizostavni dio monitoringa općenito, koristi ne samo za prikupljanje i obradu podataka o praćenim parametrima, već i kao sredstvo koje ukazuje na probleme te na vrijeme upozorava operatere na kritična mjesta i pojavu uzroka kvara ili samog kvara, te parametre koji su van dozvoljenih granica. Osim toga, ovisno o vrsti i težini kvara automatski izbacuju i tip aktivnosti održavanja koji treba poduzeti za preventivu kvara ili vraćanje sustava u operativno stanje. Ovakav je način monitoringa i znatno skuplji od periodičkog te zahtjeva i dodatno usavršavanje osoblja, ali ima svoju svrhu i primjenu s obzirom na mogućnost promptnog reagiranja u hitnim slučajevima, što istodobno smanjuje troškove neplaniranih zastoja i dužeg vremena opreme u stanju otkaza, te udio utjecaja ljudskog faktora. Osim toga, u postrojenjima kakve su NE, ovakvim se pristupom pouzdanost kontrolnih ventila te elektrane u cjelini znatnije povećava nego periodičkim monitoringom, s obzirom na moguće posljedice na ljude i okolinu koje veći kvar kritičnih ventila može uzrokovati.

No, treba reći i to da kontinuirani (*on-line*) monitoring nije moguće provesti na svakom od kritičnih AOV-a, i to stoga što im nije uvijek omogućen jednostavan i lak pristup, a osim toga niti instaliranje mjernih osjetila koja bi pratila kritične parametre nije uvijek moguće bilo da se radi o veličini, položaju ili smještaju samog ventila.

7.4.2 Analiza Osnovnih Uzroka Kvara (RCFA)

Ovdje nije namjera da se detaljnije ulazi u metodologiju provođenja ove aktivnosti, što bi značilo i određene kvantifikacije, već da se ukratko opiše te naglasi razlog njezinog korištenja kao i prednosti pred nekim drugim metodama, u stalnim nastojanjima za

poboljšanjem raspoloživosti i pouzdanosti AOV-a. Premda je ovo jednostavna i razumljiva metoda, ne mali broj problema u praksi priječi pravu primjenu i korištenje potencijala.

Mada se danas ponegdje RCFA spominje i kao jedna od strategija održavanja, ona je u prvom redu osmišljena i dizajnirana na način da bude pomoćno sredstvo inženjerima prilikom poboljšavanja kvalitete i pouzdanosti tehničkih sustava i njihovih komponenti i to prvenstveno unutar proaktivnog pristupa.

Ispravno korištena, ova metoda pruža brojne prednosti među kojima i:

- Poboljšanje pouzdanosti, raspoloživosti i kvalitete
- Trajna eliminacija uzroka potencijalnih kvarova
- Stavljanje naglaska na proaktivni pristup
- Minimiziranje troškova
- Stvaranje timova i razmjena ideja.

Prilikom analize uzroka kvarova korištenjem ove metode, stručnjaci se kao pomoćnim sredstvom služe i nekim drugim izuzetno korisnim i neophodnim metodama poput Brainstorminga (oluja mozgova), Riblja kost dijagram (*Fishbone*), FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*), Stablom kvara (*Fault Tree Analysis*), i sl.

S obzirom na sve izneseno o kvarovima na AOV-ima, njihovoj težini i značaju, korištenje ove metode pridonosi kvalitetnijem odnosu prema opisanoj problematici te isto tako i njihovom kvalitetnijem održavanju, što istovremeno može samo povećati njihovu pouzdanost i efikasnost.

RCFA predstavlja metodologiju slijeda logičkih koraka ili faza procesa koje će voditi ka izoliranju i otklanjanju osnovnog uzroka kvara.

Pitanja na koja se mora argumentirano dati precizan i jasan odgovor jesu:[37]

- Što se dogodilo?
- Gdje se dogodilo?
- Što se promijenilo?
- Tko je bio prisutan?
- **Zašto se dogodilo?**
- Koja je posljedica?
- Može li se dogoditi ponovo?
- Ako može, kako se može spriječiti?

RCFA metodologija je, zapravo, alat ili sredstvo koje bi se trebalo koristiti za kontinuirano poboljšanje svih bitnih parametara i značajki tehničkih sustava.

RCFA metodologija može se podijeliti na neke osnovne korake ili faze, koje bi, sustavno rješavane dubinskim analizama i evaluacijama, te ukazivanjem na konkretne stvari, trebale dovesti do željenog cilja:[38]

- ✓ precizno i jasno definirati problem, tj. kvar
- ✓ prikupiti sve neophodne informacije
- ✓ postavljati pitanje **ZAŠTO** dok god se ne dođe do krajnjeg, osnovnog uzroka povezanog s problemom
- ✓ identificirati korektivne akcije koje bi mogle otkloniti uzrok problema (strategija)
- ✓ identificirati konkretna rješenja koje će dovesti do trajnog uklanjanja uzroka (taktika)
- ✓ implementirati predložene aktivnosti održavanja
- ✓ **monitoring** primijenjenog rješenja na uzrok problema.

RCFA metoda djeluje na samom izvoru kvara, krećući se unatrag dok se ne zadovolje sva pitanja koja počinju sa **ZAŠTO**.

Djelovanje na uzroke problema u osnovi je inovativna djelatnost, što znači da se na taj način dolazi do rješenja koja u većini slučajeva predstavljaju inovacije, trajna poboljšanja koja se u drugim okolnostima ne mogu ostvariti, s obzirom da je samo djelovanje na posljedice jednoličan i više-manje nekreativan zadatak. Kada se pogledaju dijagrami sa prikazima frekvencija pojava kvara na komponentama AOV-a u NE (slika 7.4, str. 115), te najčešći uzroci kvarova (slika 7.1, str. 109), postaje jasnije zašto je ova metoda predložena kao jedan od mogućih načina unapređenja održavanja AOV-a.

Zbog već spomenutih zahtjeva koji se postavljaju na održavanje tehničkih sustava danas, iz razloga povećane kompleksnosti, sigurnosti, ekologije, troškova zastoja i sl., a pogotovo kod AOV-a u NE, ne smije se zanemariti korist provođenja metodologije trajnog rješavanja uzroka kvarova, bez obzira bila to RCFA metoda ili neka druga. No, kako ćemo biti sigurni da će implementirano rješenje problema osigurati željeni rezultat? Naravno, aktivnost bez koje nema efikasnog pristupa održavanju dati će odgovor na ovo pitanje, a to je monitoring. Na primjeru AOV-a, to će biti već opisano dijagnostičko testiranje sofisticiranom testnom opremom kroz periodički ili kontinuirani monitoring.

7.4.3 Proaktivni pristup

Po nekim pokazateljima trend u svijetu održavanja (tablica 7.1), [35] ili bolje reći gospodarenja imovinom, postaje proaktivni pristup što i ne treba čuditi s obzirom na kompleksnost i značaj tehničkih sustava te sve veće zahtjeve koji se na njih postavljaju, pogotovo u postrojenjima kakve su nuklearne elektrane, gdje osim pouzdanosti i raspoloživosti treba osigurati i maksimalnu sigurnost.

Praksa proaktivnog održavanja u svijetu pokazala je da RCM pa ni TPM nisu konačna granica u postizanju vrhunskog održavanja. Proaktivni pristup problematici održavanja tehničkih sustava jedini može osigurati sve neophodno za njihov nesmetan rad.

Tablica 7.1 Zastupljenost pristupa održavanju

Pristup održavanju TS-a	Sve promatrane kompanije	Samo najbolje
Reaktivno	55 %	10 %
Preventivno	31 %	10 %
Prediktivno	12 %	50 %
Proaktivno	2 %	5 - 15 %

Osim toga, još je jedan faktor koji se ne može zanemariti bez obzira radilo se o NE ili nekom drugom postrojenju a to su troškovi. Velike kompanije shvatile su da se drastično smanjenje troškova održavanja može postići samo proaktivnim djelovanjem pri čemu se ne dozvoljava niti rad do otkaza (osim za poneku manje bitnu opremu) niti samo osnovno preventivno održavanje, pa čak ni čisto prediktivno održavanje ne daje dovoljno dobre rezultate. Proaktivno održavanje predstavlja kombinaciju svih navedenih pristupa ali uz striktno praćenje stanja (monitoring) tehničkih sustava te otkrivanje ranih uzroka kvarova i njihovo trajno uklanjanje u samom začetku.

Dakle, proaktivno održavanje ne bazira se samo na praćenju stanja i sprečavanju nastanka kvara, ono ujedno, traži i poboljšanje, dakle inovacija postojećeg sustava s ciljem trajnog uklanjanja mogućnosti pojave kvara.

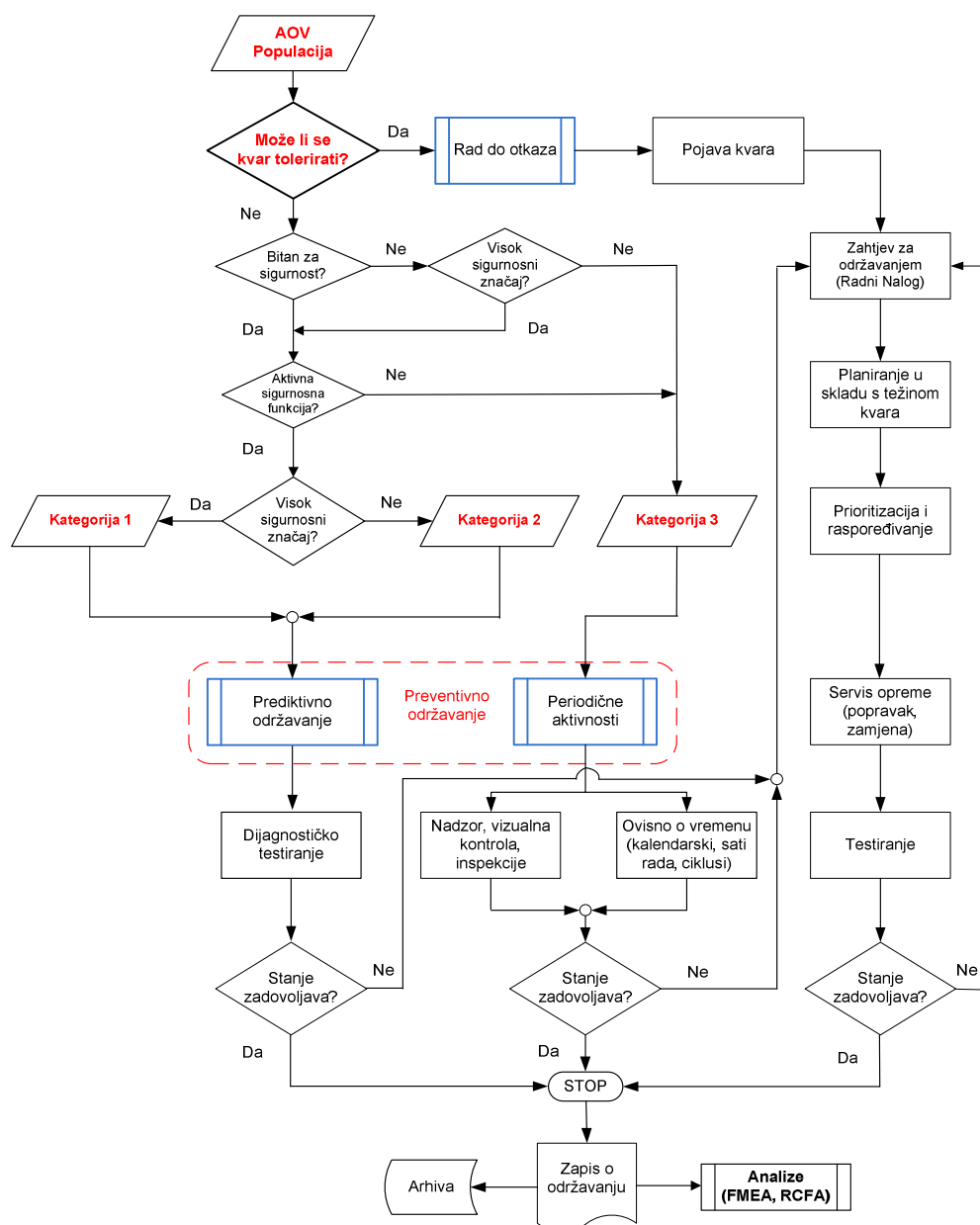
Poanta je u tome da se od postojećih suvremenih trendova održavanja izvuče ono za što smatramo da bi u danim okolnostima polučilo maksimalne rezultate. Osim prediktivnog održavanja unutar kojeg bi se monitoringom stanja pratilo i dokumentiralo kretanje kritičnih parametara AOV-a, neizostavno je koristiti i metode analize kvarova, njihovih uzroka te načina trajnog uklanjanja, poput RCFA metode (*Root Cause Failure Analysis*).

Na ovaj bi se način zatvorila konstrukcija praćenja, otkrivanja, identificiranja, analiziranja i otklanjanja ne samo kvara kao takvog, već i osnovnih uzroka kvara, čijim se trajnim uklanjanjem sprečava i njegova ponovna pojava.

S obzirom na sve izloženo, logično je zaključiti da je definitivno poželjan izbor za unapređenje održavanja AOV-a u NE proaktivni pristup, s obzirom da je jedino na taj način moguće osigurati njihovu maksimalnu raspoloživost i pouzdanost, dakle osigurati da će ispunjavati svoju funkciju predviđeno vrijeme, koje u ovom slučaju mora biti 18 mjeseci (period između 2 remonta), a u budućnosti će taj period sigurno biti i dulji.

To ujedno znači da će i NE u cjelini, naravno, u onoj mjeri u kojoj ovisi o radu AOV-a, funkcionirati sigurno i pouzdano uz maksimalnu efikasnost.

Na idućoj je slici prikazan koncept održavanja kontrolnih ventila gdje bi bili integrirani osnovni principi AOV programa kao i postojećeg pristupa održavanju, princip kategorizacije AOV-a te proaktivni pristup održavanju kontrolnih ventila.



Slika 7.8 Predloženi koncept održavanja AOV-a

8 ZAKLJUČAK

Nuklearne elektrane energetska su postrojenja za proizvodnju električne energije kod kojih, osim obavezne maksimalne sigurnosti, glavnu ulogu igra pouzdanost. Prema definiciji, pouzdanost predstavlja vjerojatnost da će tehnički sustav obavljati željenu funkciju u određenom okruženju predviđeni period vremena. Taj predviđeni period vremena iznosi jedan radni ciklus nuklearne elektrane čije trajanje iznosi 18 mjeseci, negdje i dulje, ovisno o tipu reaktora. Tijekom trajanja jednog radnog ciklusa unutar nuklearne elektrane odvijaju se brojni procesi koji se moraju efikasno držati pod kontrolom kako bi elektrana obavljala propisane aktivnosti, na način na koji želimo. Ono što se nastoji postići je efikasna proizvodnja željene količine električne energije u određenom vremenu, i to na siguran i pouzdan način. Međutim, postavlja se pitanje kako osigurati dugotrajnu pouzdanu, sigurnu i efikasnu kontrolu procesa nuklearne elektrane?

Zračno upravljani kontrolni ventili predstavljaju tehnički sustav namijenjen upravo toj svrsi, kontroli procesa u elektranama. No, nije dovoljno ugraditi ventile i očekivati da će uz minimum pažnje pružati svoj maksimum, ili bolje reći optimum. Osnovu na kojoj značajno počivaju pouzdanost, sigurnost i efikasnost predstavlja ispravan pristup održavanju, koji je davno prešao granice osnovnog preventivnog održavanja, a koje je, nažalost, i danas još uvijek u dobrom djelu elektrana vodeći oblik brige o opremi. Činjenica je da je osnovni uzrok otkaza zračno upravljanih ventila upravo loše ili nedostatno održavanje, što je zabrinjavajuće ali ujedno i otvara prostor za poboljšanja, u koji, nažalost, nisu svi spremni zakoračiti.

Činjenice i te kako govore u prilog poboljšanja održavanja, s obzirom da se toplinska snaga elektrana, gdje su uklonjeni problemi vezani samo za ovaj tip ventila, poboljšala od 2 – 5 % [34], što nipošto nije zanemarivo. Poboljšanjem održavanja implementacijom programa prediktivnog održavanja u elektranama, reduciraju se troškovi održavanja i operativni troškovi za oko 5%, te povećava profitabilnost za isto toliko, uz istovremeno povećanje raspoloživosti za 1,5 %. [40]

Također, činjenica u koju neki ne mogu, ili ne žele, povjerovati je da je nakon praćenja rezultata optimizacije performansi zračno upravljanih ventila u nekoliko elektrana u SAD-u tijekom jedne godine zabilježen porast snage u rasponu od 6 pa do čak 35 MW [31], ovisno o snazi pojedine elektrane.

Za usporedbu, tijekom 6 godina, od početka 2000. do kraja 2005. praćeno u preko 60 nuklearnih elektrana u SAD-u, došlo se do nevjerojatnog podatka o ukupnom gubitku od preko 5,000.000 MWh električne energije [30], uzrokovanih samo lošim performansama zračno upravljanih ventila.

U svjetlu navedenih činjenica koje su, na određeni način, pokazatelji u kojem smjeru treba ići, jasno je da zračno upravljanim ventilima nije dovoljno samo kvalitetno optimizirati performanse već ih i održavati optimalnim tijekom radnog vijeka. Odgovor na pitanje kako osigurati pouzdanu, sigurnu i efikasnu kontrolu procesa nuklearne elektrane, jasan je i logičan: proaktivni pristup održavanju, u okviru kojega je neizostavan monitoring, periodički ili kontinuirani, te trajna eliminacija uzroka kvarova, naravno u onoj mjeri u kojoj je to moguće postići pod danim uvjetima.

Postizanje visokog nivoa kvalitete održavanja manji je problem od onoga kako ga na tom nivou i zadržati, a tajna uspjeha mogla bi biti u kontinuiranom poboljšanju te stalnim naporima za održanjem visoke razine pouzdanosti, sigurnosti i efikasnosti.

Predloženi koncept strategije održavanja, čija je osnova mjerenje i praćenje stanja ključnih parametara zračno upravljanih ventila, predstavlja jedan od mogućih pristupa u okviru proaktivnog održavanja, te ga je moguće dalje razvijati i poboljšavati.

No, ono što treba stalno imati na umu je to da bez kvalitetnog monitoringa, bez obzira bio on kontinuiran ili periodički, nema niti uspješnog održavanja.

LITERATURA

- [1] Guidance for Optimizing Nuclear Power Plant Maintenance Program; IAEA-TECDOC-1383, December 2003.
- [2] Feretić, D. – Tomšić, Ž. – Škanata, D. – Čavlina, N. - Subašić, D.: Elektrane i okoliš; ELEMENT, Zagreb, 2000.
- [3] Božičević, M. – Feretić, D. – Tomšić, Ž.: Smanjenje emisije ugljičnog dioksida u Hrvatskoj uporabom nuklearne energije; FER-ZVNE, 2009.
- [4] Prelec, dr. Z.: Procesi u nuklearnim elektranama;
(www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra4/nuklearna_energ.postr. 3pogl.pdf)
- [5] Feretić, D. – Čavlina, N. – Debrecin, N.: Nuklearne elektrane; Školska Knjiga, Zagreb, 1995.
- [6] Improving Maintenance Effectiveness; EPRI, TR-107042, March 1998.
- [7] Nuclear Power Plant Outage Optimisation Strategy; IAEA, IAEA-TECDOC-1315, October 2002.
- [8] (www.mojaenergija.hr/index.php/me/Knjiznica/Teme/Nuklearna-energija/Radioaktivni-otpad-iz-nuklearnih-elektrana)
- [9] Vrkljan, I.: Podzemne građevine i tuneli; Poglavlje 16 – Podzemne građevine;
(www.gradri.hr/dokumenti/pgit/16-Podzemnegrađevine.pdf)
- [10] Slišković, Merica: Ekologija mora; Pomorski Fakultet, Split;
(www.pfst.hr/data/materijali/Ekologijamora-Predavanje.pdf)
- [11] Application of Reliability Centered Maintenance to Optimize Operation and Maintenance in Nuclear Power Plants; IAEA, IAEA-TECDOC-1590, May 2007.
- [12] Inženjerski Priručnik IP4, Grupa autora, Održavanje Opreme, str. 293-331.
- [13] Campbell, John D.: UPTIME – Strategies for Excellence in Maintenance Management; Productivity Press, 1995.
- [14] Hrvatska Norma, HRN EN 13306
- [15] Palmer, Robert Doc: Maintenance Planning and Scheduling Handbook; McGraw-Hill, New York, 1999.
- [16] Aleksić, M. – Stanojević, P. – Cvrk, S.: Prilog razumijevanju monitoringa u realnom vremenu; Zbornik radova, Konferencija održavanja, Ulcinj, 23-25.06.2010.

- [17] Mobley, R. Keith: An Introduction to Predictive Maintenance; Second Ed., Butterworth-Heinemann, 2002.
- [18] Wireman, Terry: Developing Performance Indicators for Managing Maintenance; Industrial Press, New York, 1998.
- [19] Mobray, John: Reliability Centered Maintenance; Butterworth-Heinemann, Second Edition, 1997.
- [20] (www.nek.si/hr)
- [21] (www.plant-maintenance.com/terminology.shtml)
- [22] Dunn, Sandy: Benchmarking as a maintenance performance measurement and improvement technique; Assetivity Pty Ltd, 2003.
- [23] (www.g2r.hr/Poslovnibenchmarking.html)
- [24] Safety Related Maintenance in the Framework of the Reliability Centered Maintenance Concept; IAEA, IAEA-TECDOC-658, July 1992.
- [25] Abe, Hiroshi – Inagaki, Takeyuki: New Maintenance Strategy and Effective Ageing Management; Tokyo Electric Power Company, September 2009.
- [26] Control Valve Handbook; FISHER Controls International, 2005.
- [27] Station Service and Instrument Air System; Final System Design Description, DCM-SD-060, 2003., Rev. 2
- [28] Joint Owners Group Air Operated Valve Program; JOG AOV Committee, Rev. 1, December 2000.
- [29] AUG Survey 2007., AOV Users Group, 2007. (www.aovusersgroup.com)
- [30] Topical Report TR4-42, Addendum 1; Review of AOV Related Events (2000-2006), INPO, December 2006.
- [31] Sherikar, Sanjay V.: The Contribution of Control Valves in Maximum Power Plant Performance; Presented at COAL-GEN, Chicago, 25-27 July 2001.
- [32] Ritz, George: Control Valve Actuator Options; CCI, Ca, USA
(www.ccivalve.com/pdf/264.pdf)
- [33] How to pick control valves with low life cycle cost; Process Industry News, SPIRAX-SARCO, July 2009. (www.spiraxsarco.com/uk)
- [34] Sherikar, Sanjay V.: Evaluation of Control Valve Performance is Necessary in Plant Betterment Program; CCI, USA, 2004. (www.iceweb.com.au/Valve/evaluatio.htm)

- [35] Reinhart, Neil: Control Valve Maintenance; PUTMAN 2006., EMERSON Process (www.chemicalprocessing.com)
- [36] Tucker, Jim: Data Acquisition and Basic Analysis for Air Operated Valves; CRANE Nuclear, Kennesaw, GA, USA, 2008.
- [37] Mobley, R. Keith: Root Cause Failure Analysis; Butterworth-Heinemann, 1989.
- [38] Rundle, Peter K.: The Need for Root Cause Failure Analysis; Rundle Corp., CA, USA, 2003. (www.rundlelawcorp.com/files/Abstract2_IEEE_Root_Cause_Analysis.pdf)
- [39] Implementation Strategies and Tools for Condition Based Maintenance at Nuclear Power Plants; IAEA, IAEA-TECDOC-1551, May 2007.
- [40] McGillivray, Warren – Stoll, Harry G. – White, Andrew C.: Operation and Maintenance Strategies to Enhance Plant Profitability; GE Power Systems, GE Press, New York, 1996.

Životopis

Rođen sam 23.07.1965. godine u Pakracu, Republika Hrvatska. Od 1978. godine živim u Zagrebu gdje sam završio osnovnu školu, Srednju školu "Nikola Tesla", Klaićeva 7, Smjer Procesno strojarstvo, te diplomirao na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, smjer Proizvodno strojarstvo.

Od 31.12.1994. zaposlen sam kao pripravnik u INA Naftaplinu, Sektor Tehnoloških Servisa, kao inženjer na održavanju specijalnih vozila i opreme. Nakon izdvajanja sektora i preimenovanja u CROSCO d.o.o., početkom 1997. godine, prelazim na održavanje opreme kopnenih bušačih postrojenja i platformi. Tijekom 1998. proveo sam četiri mjeseca, od travnja do kolovoza, kao zamjenik voditelja remonta platforme ZAGREB I. Nakon toga slijede projekti vezani za istu platformu kao što su rad na organizaciji službe održavanja i skladišne službe.

Od travnja 2000. prelazim u informatičku službu gdje kao inženjer specijalista radim na implementaciji SAP R/3 programskog paketa te kao odgovorna osoba za modul Održavanje Postrojenja (*PM module*). Osim toga, radio sam na poslovima administratora baze ORACLE te kao SAP R/3 administrator.

Od 01.12.2005. zaposlen sam u ENCONET d.o.o., privatnoj konzultantskoj tvrtki, u kojoj danas radim kao voditelj projekta razvoja i implementacije AOV programa u NE Krško.

Curriculum Vitae

I was born on July 23, 1965 in Pakrac, Croatia. Since 1978 I have been living in Zagreb, where I finished elementary school, high school "Nikola Tesla" in Klaićeva Street, and graduated from the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Department of Production Engineering.

From December 1994 I was employed at INA Naftaplin as an engineer in the maintenance of special vehicles and equipment. Since early 1997, in CROSCO Ltd, a new member of the INA group, I worked as a maintenance engineer on the drilling rigs equipment. During 1998 I spent four months, from April to August, as deputy head of platform ZAGREB-I overhaul. This is followed by projects related to the same platform, such as work on the organization of maintenance and storage service. In April 2000 I moved to the IT department where I worked as an engineer specialist on the implementation of SAP R/3 software package as well as the person responsible for Plant Maintenance (PM) module and SAP software administration. As an SAP expert my responsibilities included SAP R/3 system administration, ORACLE administration and Plant Maintenance (PM) module customization and management.

Since December 1, 2005 I have been working as a project manager in ENCONET Ltd, consulting company, on development and implementation of the AOV program in NPP Krško.